

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ PhD.15/31.08.2022.Т.73.01 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ АСОСИДА БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**  

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**МАТУРАЗОВ ИЗЗАТ СОЛИЕВИЧ**

**ЗАМОНАВИЙ ТАРКИБИЙ ҚИСМЛАР АСОСИДА АВИАЦИОН  
ЖИҲОЗЛАРНИНГ МАЖМУАВИЙ ДИАГНОСТИКА  
ТИЗИМЛАРИНИ ЯРАТИШ**

**05.02.08 – Ер усти мажмуалари ва учиш аппаратлари**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2023**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Матуразов Иззат Солиевич**

Замонавий таркибий қисмлар асосида авиацион жиҳозларнинг  
мажмуавий диагностика тизимларини яратиш..... 3

**Матуразов Иззат Солиевич**

Разработка системы комплексной диагностики авиационного  
оборудования на основе современной элементной базы..... 21

**Maturazov Izzat Soliyevich**

Development of a system of complex diagnostics of aviation equipment  
based on a modern element base..... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 42

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ PhD.15/31.08.2022.Т.73.01 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ АСОСИДА БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**  

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**МАТУРАЗОВ ИЗЗАТ СОЛИЕВИЧ**

**ЗАМОНАВИЙ ТАРКИБИЙ ҚИСМЛАР АСОСИДА АВИАЦИОН  
ЖИҲОЗЛАРНИНГ МАЖМУАВИЙ ДИАГНОСТИКА  
ТИЗИМЛАРИНИ ЯРАТИШ**

**05.02.08 – Ер усти мажмуалари ва учиш аппаратлари**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2023**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.2.PhD/T745 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент давлат транспорт университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) ва "ZiyoNet" Ахборот таълим порталида ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Абдукаюмов Абдурашид**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Рахимов Бахтиёржон Нетьматович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Саитов Азиз Азимович**  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори

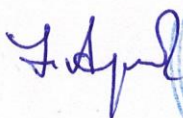
**Етакчи ташкилот:**

**Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат транспорт университети ҳузуридаги PhD.15/31.08.2022.T.73.01 рақамли Илмий кенгаш асосида бир марталик Илмий кенгашнинг 2023 йил 25 март соат 16<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 100167, Тошкент ш., Темирийўлчилар кўчаси, 1-уй. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.ru.

Диссертация билан Тошкент давлат транспорт университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (091 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100167, Тошкент ш., Темирийўлчилар кўчаси, 1-уй. Тел: (99871) 299-05-66.

Диссертация автореферати 2023 йил 10 март куни тарқатилди.  
(2023 йил 9 мартдаги 009 рақамли реестр баённомаси).



**Н.М. Арипов**  
Илмий даражалар берувчи  
Илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор



**Ш.М. Суёнбаев**  
Илмий даражалар берувчи  
Илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., профессор

**М.Х. Расулов**  
Илмий даражалар берувчи Илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
т.ф.н., профессор

## КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда авиация соҳасига бўлган талаб кундан кунга ошиб бориши натижасида аэропортларда ҳаво кемалари қатновининг ошиши ва бир вақтнинг ўзида учиб-қўниш йўлакларига ҳаракатланишини бошқариш ҳамда ҳаво кемаларига тез ва самарали техник хизмат кўрсатиш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳаво кемаларига техник хизмат кўрсатиш турли амаллар бажаришни талаб қилади ва бу жараёнда рейсларнинг кечикишига олиб келиши мумкин. Бу муаммо ривожланган давлатларнинг аэропортларида ҳам кузатишмоқда<sup>1</sup>, жумладан Франция, Англия, Германия, Испания, Италия, АҚШ, Хитой, Япония, Сингапур, Австралия, БАА, Жанубий Корея каби давлатларда ҳаво кемаларига парвоздан кейин техник хизмат кўрсатиш тизимини такомиллаштириш масалаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шунинг учун ҳам йўловчиларга сифатли хизмат кўрсатишда, авваламбор, ҳаво кемаларига техник хизмат кўрсатиш жараёнининг вақтини камайтириш долзарб муаммолардан бири ҳисобланади.

Дунёда ҳаво кемаларига парвоздан кейин техник хизмат кўрсатиш жараёнида авиацион жиҳозларнинг носозлигини аниқлаш, уларни диагностика қилиш ҳамда техник кўриқдан ўтказиш вақтининг қисқартирилишига қаратилган илмий-тадқиқот ишларига катта эътибор қаратилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, ҳаво кемаларига техник хизмат кўрсатиш жараёнларини оптималлаштириш ва авиацион жиҳозларни диагностика қилиш тизимини такомиллаштириш бўйича илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш алоҳида аҳамият касб этмоқда. Бу борада, ҳаво кемасининг авиацион жиҳозларининг техник ҳолатини диагностика қилишда техник хизмат кўрсатиш усулини такомиллаштириш, замонавий таркибий қисмлар асосида борт маълумотларини масофадан узатиш усулини ишлаб чиқиш ва амалдаги диагностика қилиш тизимларининг ўрнига масофавий диагностика тизимини яратиш муҳим долзарб вазифалардан ҳисобланмоқда.

Республикамизда транспорт соҳасини ривожлантириш, жумладан авиация соҳасида йўловчиларга қулайлик яратиш учун уларга хизмат кўрсатишни такомиллаштириш мақсадида ҳаво кемасига техник хизмат кўрсатиш жараёнларининг вақтини қисқартириш, уларни кутиб олиш ҳамда кузатиш бўйича бир қанча чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида, жумладан, “Барча транспорт турларини узвий боғлаган ҳолда ягона транспорт тизимини ривожлантириш ..., транспорт ва логистика хизматлари бозори ва инфратузилмасини ривожлантириш ..., транспорт соҳасида ташқи савдо учун “яшил коридорлар” ҳамда транзит имкониятларини кенгайтириш ..., хавфсизлик, савдо-иқтисодий, сув, энергетика, транспорт ва маданий-гуманитар соҳалардаги яқин ҳамкорликни

<sup>1</sup><https://crisis24.garda.com/alerts/2022/12/germany-flight-disruptions-are-likely-at-frankfurt-airport-through-december>.

сифат жиҳатидан юқори босқичга олиб чиқиш бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган”<sup>2</sup>. Ушбу вазифаларни амалга ошириш, жумладан ҳаво кемасига техник хизмат кўрсатиш жараёнида авиацион жиҳозларни диагностика қилиш тизимини такомиллаштириш муҳим вазифалардан бири саналади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги ПФ-60-сонли, 2020 йил 5 октябрдаги ““Рақамли Ўзбекистон – 2030” стратегиясини тасдиқлаш ва уни самарали амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-6079-сонли, 2018 йил 27 ноябрдаги “Ўзбекистон республикасининг фуқаро авиациясини тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-5584-сонли Фармонлари ва 2022 йил 26 октябрдаги “Республикада маҳаллий авиакатновларни ривожлантиришга оид қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги ПҚ-412-сонли қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меърий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV – “Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш” устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Ҳозирги вақтда ҳаво кемасини ишлаб чиқарувчилар масофадан диагностика қилиш тизимини яратиш бўйича фаол иш олиб боришмоқда. Шу билан бирга шуни айтиш жоизки, кўплаб ишланмалар маълум бир ҳаво кемасинигина эмас, балки бир неча типдаги кўплаб ҳаво кемаларига хизмат кўрсатишга мўлжалланган. Бугунги кунга қадар ишлаб чиқилган масофадан туриб ҳаво кемасини назорат қилиш воситалари, одатда ультра қисқа тўлқинлар ёрдамида маълумотларини узатишга асосланган. Boeing ва Airbus каби ҳаво кемаларни ишлаб чиқарувчи компаниялар энг замонавий ҳаво кемаларида симсиз ускуналарни диагностика қилиш 60 МГц частотада маълумотларни узатиш ёрдамида амалга оширилади. Бундан ташқари, ушбу тизимлардаги маълумотлар алмашиш протоколлари тижорат сири ҳисобланади ва улар тўғрисидаги маълумотлар ҳеч қаерда эълон қилинмайди. Ҳаво кемаларига техник хизмат кўрсатишда диагностика қилиш тизимини такомиллаштириш ва ҳаво кемаси авиацион жиҳозларининг носозлигини аниқлашни такомиллаштиришга йўналтирилган илмий тадқиқотлар, дунё бўйича етакчи илмий марказ ва олийгоҳларда, жумладан Las Palmas de Gran Canaria (Испания), Technical University Berlin (Германия), Konkuk University (Корея), Москва авиация институти (миллий тадқиқотлар университети) (Россия) ва Тошкент давлат транспорт университетида (Ўзбекистон) олиб борилмоқда.

---

<sup>2</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида”ги ПФ-60-сонли Фармони.

Ҳаво кемаларининг авиацион жиҳозлари ва уларга техник хизмат кўрсатиш жараёнларини такомиллаштириш бўйича жаҳондаги йирик тадқиқотчилар, жумладан J.Perez-Mato, R.Perez-Jimenez, J.Tristancho, E. Poves, J.A. Martin-Gonzalez, S. Rodriguez, E.T. Нурушев, A.B. Бабак, O.H. Скрыпник, Г.И. Ключев, Б.А. Никольский, А.Н. Коптев, В.А. Прилепский, O.Ф. Машошин, S. Petersen, S. Krasiewski, J.R. Todd ва бошқалар томонидан илмий-тадқиқот ишлари олиб борилган. Юртимизда ҳаво кемалари ва унинг авиацион жиҳозларида техник технологик юзага келувчи масалаларини ҳал этишга қаратилган тадқиқотлар А. Абдуқаюмов, Р.Х. Сайдахмедов, Х.Х. Хуснутдинова, А.Х. Султанов, Н.А. Абдужабаров, К.К. Кадирбекова, Т.А. Сагдиев, Д.Э. Эшмурадов, Р.Г. Закиров ва бошқа олимларнинг илмий ишларида ўз аксини топган.

Бироқ, ҳаво кемаларининг авиацион жиҳозларига техник хизмат кўрсатиш тизимини такомиллаштириш масаласи тўлиқ кўриб чиқилмаган. Шунингдек, ҳаво кемаларининг авиацион жиҳозларни масофадан мажмуавий диагностика қилиш тизимини Ўзбекистон миқёсида такомиллаштириш масаласи етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий тадқиқот режасидаги Европа Иттифоқининг ERASMUS+ 561989-EPP-1-2015-1-UK-EPPKA2-SBHE-JP “Парвозлар хавфсизлиги ва учишга яроқлилик” (2015-2018) амалий лойиҳаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** ҳаво кемаларига техник хизмат кўрсатиш жараёнида замонавий таркибий қисмлар асосида авиацион жиҳозларнинг мажмуавий диагностика тизимини яратишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

ҳаво кема авионикасини анализ қилиш, уларни назорат қилиш ҳамда диагностика воситалари ва усулларини тадқиқ қилиш;

ҳаво кемасидаги радиоэлектрон жиҳозларнинг ҳолатини масофадан туриб аниқлаш тизимининг самарадорлигини баҳолаш ва унга бўлган талабларни шакллантириш;

замонавий таркибий қисмлар асосида авиацион жиҳозларнинг мажмуавий диагностика тизими учун фазовий оптик алоқа йўли тизимининг узаткич ва қабул қилгичларини танлаш;

замонавий таркибий қисмлар асосида авиацион жиҳозларнинг мажмуавий диагностика тизимини яратиш;

масофадан мажмуавий диагностика тизими учун компьютер дастурини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** замонавий таркибий қисмлар асосида авиацион жиҳозларнинг масофадан мажмуавий диагностика тизими, масофадан мажмуавий диагностика тизимининг бортдаги мажмуаси ва масофадан мажмуавий диагностика тизимининг марказлаштирилган ер усти мажмуаси.

**Тадқиқотнинг предмети** масофадан мажмуавий диагностика

тизимининг фазовий оптик алоқа йўлидаги узатгич ва қабул қилгич қурилмалари ҳамда компьютер дастурининг алгоритми.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида илмий таҳлил, энг кичик квадрат усуллари, эҳтимоллар назарияси, маълумотлар ва алгоритмлар назарияларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

парвоздан кейин техник хизмат кўрсатиш усули ҳаво кемасини масофадан диагностика қилишда фазовий оптик алоқа йўлини танлаш орқали такомиллаштирилган;

ҳаво кемасидаги авиацион жиҳозларнинг ҳолатини назорат қилиш ва масофадан мажмуавий диагностика қилиш усули об-ҳаво шароитларида оптик сигналнинг сўнишини ҳисобга олиб ишлаб чиқилган;

замонавий таркибий қисмлар асосида ҳаво кемасидаги авиацион жиҳозларнинг борт маълумотларини масофадан узатиш усули электромагнит мослашувчанликка ва инфрақизил диапазонда ишловчи халақитбардош модулларни ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган;

авиацион жиҳозларнинг носозлигини ва эксплуатация қилиш муддатини аниқловчи масофадан мажмуавий диагностика тизимининг математик модели ва унинг алгоритми радиоэлектрон қурилмаларнинг ишлаш параметрларини ҳисобга олиб яратилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

замонавий таркибий қисмлар асосида авиацион жиҳозларнинг мажмуавий диагностика тизими ҳаво кемасига техник хизмат кўрсатиш жараёнини ҳисобга олган ҳолда яратилган;

масофадан мажмуавий диагностика тизими орқали олинган маълумотларни таҳлил қилиш орқали ҳаво кемасининг авиацион жиҳозларидаги носозликларни аниқловчи алгоритмлар ва дастурий мажмуалар кўринишидаги инструментал воситалар ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги масофадан мажмуавий диагностика қилишда фазовий оптик алоқа йўллариининг асосий қонунлари, назариялари ҳамда ҳисоблаш усуллари асосли равишда қўллаш ва экспериментал натижаларнинг ўзаро мос келиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти замонавий таркибий қисмлар асосида авиацион жиҳозларнинг масофадан мажмуавий диагностика тизимини яратиш назарий асосланганлиги ва авиацион жиҳоз схемалари ҳамда носозликларни аниқловчи ахборот-дастурий таъминотни ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ҳаво кемаларининг радиоэлектрон жиҳозларини масофадан диагностика қилишда тизим сигналларини фазовий оптик алоқа йўли орқали узатиш ва қабул қилиш амалга оширилиши билан бир қаторда ҳаво кемасининг бошқа жиҳозларини ҳам назорат қилиш имконига эга бўлинганлиги билан изоҳланади.



**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Ҳаво кемасига техник хизмат кўрсатиш учун ишлаб чиқилган масофадан диагностика қилиш тизимини қўллаш орқали олинган натижалари асосида:

ҳаво кемасининг авиацион жиҳозларини масофадан диагностика қилиш тизими “Uzbekistan airways technics” МЧЖ да жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Транспорт вазирлигининг 2022 йил 22 сентябрдаги 10/5772-сонли маълумотномаси). Натижада ҳаво кемасига техник хизмат кўрсатиш вақти камайтирилган, техник носоз бўлган жиҳозлар ва тизимларнинг ҳолатини аниқлашда аниқлик даражаси ошган, носоз бўлган жиҳозларни аниқлаш вақти ўртача 50 дақиқага қисқарган ҳамда диагностика қилиш вақтининг қисқариши ҳисобига бир ойда ўртача 143 955 842 сўм ҳамда бир йилда ўртача 1 727 470 113 сўм иқтисодий самарадорликга эришилган;

ҳаво кемасининг авиацион жиҳозларини масофадан диагностика қилиш тизими “Тошкент механика заводи” АЖ да жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Транспорт вазирлигининг 2022 йил 22 сентябрдаги 10/5772-сонли маълумотномаси). Натижада ҳаво кемасига техник хизмат кўрсатиш вақти камайтирилган, таъмирлаш жараёнига сарфланган вақт қисқартирилган, техник носоз бўлган жиҳозлар ва тизимларнинг ҳолатини аниқлашда аниқлик даражаси ошган, носоз бўлган жиҳозларни аниқлаш вақти қисқарган ҳамда амалдаги технологияларга нисбатан 1,5-1,6 баробар вақт сарфининг тежамкорлигига эришилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 9 та илмий-амалий анжуманлар, шу жумладан 2 та Scopus базасидаги илмий анжуманда, 5 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларида апробациядан ўтган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 15 та илмий иш, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 4 та мақола, жумладан 2 та республика ва 2 та чет эл илмий журналларида чоп этилган ҳамда Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги интеллектуал мулк агентлигидан 1 та ЭҲМ учун дастурга гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, учта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 114 бетни ташкил этади.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида диссертация тадқиқотининг долзарблиги ва заруратининг асосланганлиги, Ўзбекистон Республикасининг фан ва технологияларни ривожлантириш устувор йўналишларига мувофиқ асосий мақсад ва вазифаларнинг, шунингдек тадқиқотлар объекти ва предметларининг тавсифи, илмий янгилиги ва амалий натижалари, олинган натижаларнинг ишончлилиги, натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти,

тадқиқот натижаларининг жорий қилинганлиги ҳақидаги маълумотлар, чоп этилган илмий ишлар бўйича маълумотлар ва диссертация ишининг тузилиши келтирилган.

Диссертациянинг **“Ер усти жиҳозлари ва ҳаво кемасининг параметрларини диагностика қилиш воситалари ҳамда усулларини таҳлил қилиш”** деб номланган биринчи бобида ҳаво кемасининг авионика қурилмаларини таҳлил қилинган. Ҳаво кемасининг асосий диагностика қилинадиган жиҳозлари А-320 ва В-787 ҳаво кемалари мисолида кўриб чиқилган ҳамда борт қурилмаларининг турлари ёритиб берилган.

Ҳаво кемасини комплекс диагностика қилиш учун мавжуд тизимлар таҳлил қилинган ва ҳозирги вақтда ҳаво кемалари тизимлари орасида ARINC 429 стандарт форматда маълумотларни алмашлашга имкон берадиган интеграцияланган модулли авионика тизимлари энг кўп қўлланилаётганлиги сабабли, ARINC 429 таҳлил қилинган.

Ҳаво кемаларнинг ахборот-ўлчов комплексининг умумлаштирилган тизимларининг ишлаш принципи кўриб чиқилган.

Тадиқотлар натижасида замонавий ҳаво кемаларида исталган ҳаво кемаси тизимининг яроқсизлигини аниқлаш ва хотирада сақлашга имкон берадиган марказлаштирилган диагностика қилиш тизимлари қўлланилиши ёритилган.

Ҳаво кемаси қурилмаларини диагностика қилиш тизимлари ва усуллари кўриб чиқилган. Ҳозирги кундаги мавжуд техник диагностика қилиш тизимларининг хилма-хиллиги сабабли уларни таснифлаш, ҳамда уларни одатда тестлаш ва функционал диагностика қилиш тизимлари келтириб ўтилган.

Инсон иштирокида диагностик маълумотларни тўплаш ва ишлов бериш амалга ошириладиган автоматлаштирилган диагностика қилиш тизимлари ва инсон иштирокисиз диагностик маълумотларни тўплаш ва ишлов беришга имкон берадиган автоматик тизимлар ўрганилган.

Парвозни амалга оширгандан кейин техник ходимлар томонидан ҳаво кемасига техник хизмат кўрсатиш амалга оширилади. Ҳозирги кунда амалиёт шуни кўрсатадики, ҳаво кемасининг кўниши ва уни техник ходимларга топшириш орасидаги вақт, албатта Ўзбекистон ҳудудидаги аэропортни ҳаво кемаларини қабул қилиш ва техникларга топшириш вақти ўртача 20 минутдан 1 соатгача давом этади.

Техник хизмат кўрсатиш жараёнида эҳтиёт қисмларни етказиб беришни кутиш ва яроқсизликларни бартараф этишга вақт сарфлари тасодифий функциялар ҳисобланади ва уларнинг ҳар биттаси рейснинг кечикишига олиб келиши мумкин. Ҳаво кемаларининг белгиланган вақтда техник кўриқдан ўтиши бу албатта белгиланган рейснинг кечикиш муаммосининг ечими сифатида ҳаво кемасининг авиацион жиҳозларини масофадан мажмуавий диагностика қилиш тизимидан фойдаланиш таклиф қилинган.

Ҳозирги кунда мавжуд ҳаво кемалари параметрларини масофадан назорат қилиш тизимлари таҳлил қилинган. Таҳлиллар натижасида, уларнинг барчаси

маълумотларни узатиш имкониятига эга бўлган ультра қисқа тўлқинли радиостанциялари ҳисобланади ва катта флотга мўлжаллан. Кичик флот учун бундай тизимлардан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан кўп маблағ талаб қилиниши ва албатта бу кичик флотлар учун мақсадга мувофиқ эмаслиги изоҳланган.

Ўтказилган таҳлил натижаларига кўра ҳаво кемаларининг авиацион жиҳозларини фазовий оптик алоқа йўли орқали масофадан мажмуавий диагностика қилиш тизими таклиф қилинган.

Иккинчи боб **“Авиация жиҳозларини комплекс диагностика тизимини яратиш”** деб номланиб, диагностика тизимини ишлаб чиқишда қўлланилаётган замонавий симсиз алоқа воситаларини таҳлил қилиш ва таснифлаш амалга оширилган. Бунда симсиз локал тармоқлар оддий симли тармоқлар учун стандартларга тўлиқ мос келадиган ва кабелларни ўтказилиши ишлатилмайдиган ҳисоблаш тармоқларини яратишга имкон берадиган технологиялар ўрганилган. Бундай тармоқларда маълумотларни ташувчи сифатида ўта юқори частоталар ёки оптик диапазон радиотўлқинлари ишлатилади.

Ҳозирги вақтда ўта юқори частоталар диапазонидаги энг оммавий симсиз алоқа тизими WirelessLAN (ингл. Wireless Local Area Network (Симсиз локал тизим); WLAN) симсиз локал ҳисоблаш тармоғи ҳисобланади. Тармоқларни бундай қуриш усулида маълумотларни узатиш радиоэфир орқали амалга оширилади, қурилмаларнинг тармоққа бирлаштирилиши кабел боғланишлардан фойдаланмасдан амалга оширилади. Ҳозирги кунда энг кенг тарқалган қуриш усуллар Wi-Fi ва WiMAX технологиялари бўйича қуриш ҳисобланади.

Ўта юқори частотали сигналларни узатишга асосланган мавжуд симсиз технологиялар улардан аэропортларда фойдаланиш учун тўғри келмайди. Бу уларнинг частоталар диапазони (2-80 ГГц) борт метеорологик ва навигацион радиолокаторлар (10 ГГц), шунингдек айрим ер усти радиолокаторларининг частоталар диапазони билан қисман қопланиши билан изоҳланади. Бундан ташқари, ҳаво кемаси бортига радиочастоталар диапазони қурилмаларининг ўрнатилиши учун уларнинг ўрнатилган тизимлар билан электромагнит мослашувчанлигини ҳисобга олиш зарур, бу эса авиацион техникани ишлаб чиқарувчилар билан жуда мураккаб келишувларни талаб қилади.

Ҳаво кемасининг авиацион жиҳозларини масофадан диагностика қилиш учун юқорида баён этилган камчиликларни бартараф этиш учун алоқа канали сифатида атмосфера оптик алоқа линиясидан фойдаланиладиган диагностика қилиш қурилмаларидан фойдаланиш таклиф этилган.

Ҳаво кемаси авиацион жиҳозларини масофадан мажмуавий диагностика қилиш тизимининг умумий функционал схемаси ишлаб чиқилган. Тизим модулларини амалга ошириш учун элементлар асоси таҳлил қилинган.

Таклиф этиладиган оптик тизимда ишлатиладиган оптик сигналлар фазовий оптик алоқа йўли (ФОАЙ) маълумотлари узатиш стандартига мос келади. Ҳаво кемаси авиацион жиҳозларини масофадан мажмуавий

диагностика қилиш учун тизим қуйидаги модуллардан иборат бўлади:

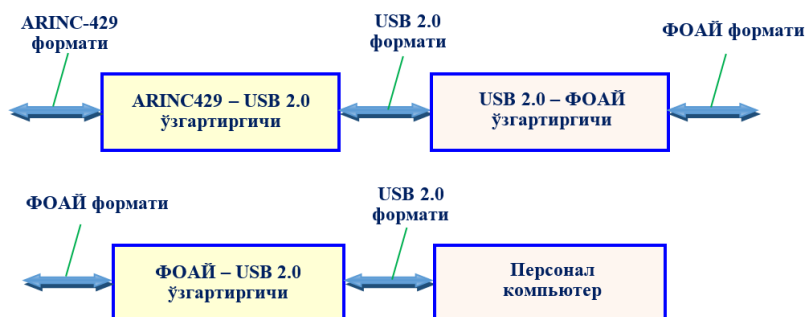
Ҳаво кемасининг борт модули сигналларни оптик узатиш йўлига узатиш учун ARINC 429 форматидан оптик сигналларга ўзгартиришни, шунингдек, қабул қилинган оптик алоқа форматадаги сигналларни ARINC 429 форматига ўзгартиришни амалга оширади. Борт модули қабул қиладиган сигналлар ҳаво кемасининг турли тизимларини тестлашни инициализациялаш сигналлари, шунингдек тестлаш натижасида олинadиган қурилманинг ҳолати тўғрисида ўрнатилган назорат қилиш марказлаштирилган тизими хотирасидан узатиладиган маълумотлар ҳисобланади.

Ишчи станция вазибаларига тестлашни инициализациялаш сигналларини генерациялаш ва борт модулига узатиши, шунингдек ҳаво кемаси тизимларининг ҳолати тўғрисида маълумотларни қабул қилиш ва ишлов бериш киради. Ишчи станция сифатида оптик узатиш ва сигналларни қабул қилиш учун уланган модулга, шунингдек ўрнатилган дастурий таъминотга эга бўлган портатив персонал компьютердан фойдаланилади.

Тизимнинг иқтисодий мақсадга мувофиқлигини таъминлаш учун тузилмавий схемани ишлаб чиқишда тайёр қурилмалар ва модуллардан максимал даражада фойдаланиш зарур. Шунинг учун батафсил тузилмавий схемани қуриш учун мавжуд оптоэлектрон ўзгартиргичларнинг элементлар асосини таҳлил қилиш керак.

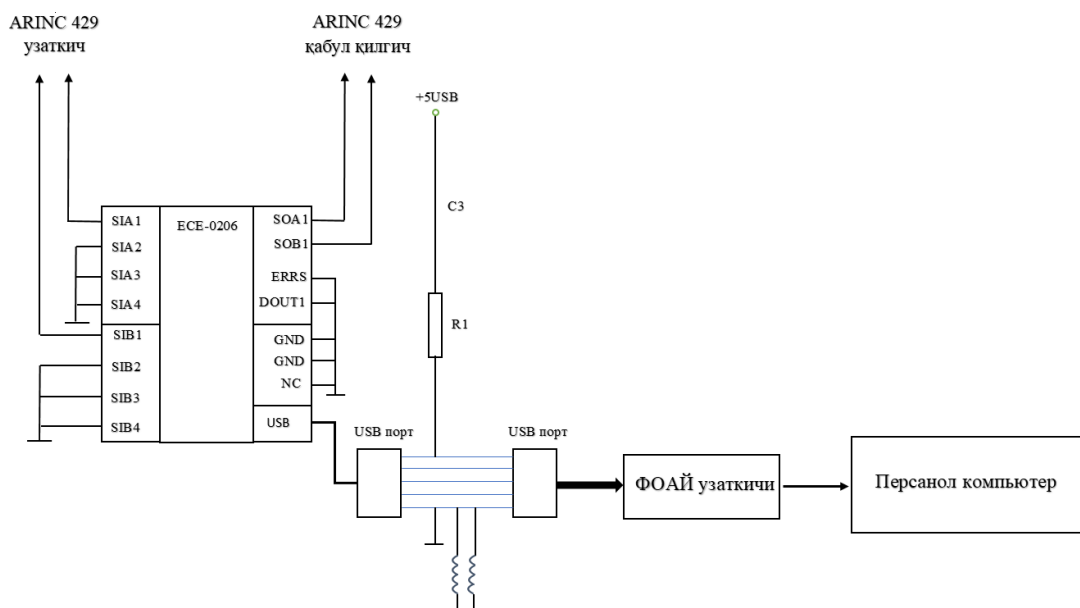
Тизимни амалга ошириш учун тайёр модуллардан фойдаланиш энг иқтисодий самарадор эканлиги аниқланган. ARINC 429 форматадаги электр сигналларни оптик сигналларга ўзгартиришни амалга ошириш учун икки босқичли модель - ARINC 429 форматни USB форматга ўзгартириш ва USB маълумотларни фазовий оптик алоқа йўли форматга ўзгартириш таклиф этилган. ARINC 429 формати USB форматга ўзгартиргич сифатида ECE 0206 ўзгартиргичдан фойдаланиш таклиф қилинган.

Ҳаво кемасининг борт модули сигналларни оптик узатиш йўлига узатиш учун ARINC 429 форматидан оптик сигналларга ўзгартиришни, шунингдек, қабул қилинган оптик алоқа форматадаги сигналларни ARINC 429 форматига ўзгартиришни амалга оширади. Борт модули қабул қиладиган сигналлар ҳаво кемасининг турли тизимларини тестлашни инициализациялаш сигналлари, шунингдек тестлаш натижасида олинadиган қурилманинг ҳолати тўғрисида ўрнатилган назорат қилиш марказлаштирилган тизими хотирасидан узатиладиган маълумотлар ҳисобланади (1-расм).



1-расм. Ҳаво кемасининг борт модули ва ер усти станциясининг тузилмаси

Тавсия этилган схемада инфрақизил қабул қилгич/узаткич сифатида M1-FE-L ARTOLINK FSO қурилмаси ишлатилади. Бутун схема USB улагич орқали 5В кучланиш билан электр таъминланади (2-расм).



**2-расм. Таклиф этилган масофадан мажмуавий диагностика қилиш тизимининг принцинал схемаси**

Оптик тизимни ҳисоблаш фотодетекторга тушган инфрақизил нурланиш қувватининг улушини аниқлашгача келтирилади. Равшанки, бу улуш қанчалик катта бўлса, оптик узаткичдан сигнални қабул қилгичга узатиш шунчалик самарали бўлади. Оптик нурнинг сочилиши ҳисобига ахборот оптик сигналнинг тушиши геометрик оптик қонунларига, фотоқабул қилгич линзалари текислигидаги оптик доғ майдонининг фотоқабул қилгич линзалари майдонига нисбати орқали аниқланади, яъни фотоқабул қилгич линзалари майдонига қуйидаги нисбатга пропорционал бўлган инфрақизил нурланишнинг бир қисми тушади:

$$A_{\text{қаб}} = \left( \frac{D_{\text{ёдд}}}{D_{\text{қаб}}} \right)^2, \quad (1)$$

бу ерда  $D_{\text{ёдд}}$  – ёруғлик доғининг диаметри, м;

$D_{\text{қаб}}$  – инфрақизил қабул қилгич линзаларининг диаметри, м.

Геометрик оптик қонунларига мувофиқ:

$$D_{\text{ёдд}} = L \cdot Q_{\text{ажр}}, \quad (2)$$

бу ерда  $Q_{\text{ажр}}$  – узаткич чиқишидаги нурланишнинг бурчакли ажралиши бўлиб, у қуйидагига тенг:

$$Q_{\text{ажр}} = \frac{A}{F_{\text{уз}}}, \quad (3)$$

бу ерда  $A$  – узаткичдаги нурланиш манбаининг ўлчами, м;

$F_{\text{уз}}$  – узаткич линзаларнинг фокус масофаси, м.

Фазовий алоқа линиясида, оптик толали алоқа линиясининг асосий параметрлари ва характеристикаларини ҳисоблашда бўлганидек, линиянинг  $P$ , энергетик потенциали тушунчасини киритиш мумкин:

$$P_{\text{э}} = P_{\text{уз}} - P_{\text{қаб}}, \text{ дБм} \quad (4)$$

бу ерда  $P_{\text{уз}}$  – оптик узаткич чиқишидаги инфрақизил нурланишнинг қуввати сатҳи, дБм;

$P_{\text{уз.лин}}$  – узаткич линзалари чиқишидаги оптик қувват, дБм;

$P_{\text{қаб}}$  – қабул қилгич киришидаги инфрақизил нурланишнинг қувват сатҳи, дБм, яъни:

$$P_{\text{қаб}} = \lg \left( \frac{P_{\text{қаб.лин}}}{1 \text{ мВт}} \right), \text{ дБм} \quad (5)$$

бу ерда  $P_{\text{қаб.лин}}$  – қабул қилгич линзалари киришидаги оптик қувват, дБм.

Инфрақизил алоқа линиясидаги  $P_{\text{й}}$  йиғинди йўқотишларини қуйидаги формула бўйича ҳисоблаш мумкин:

$$P_{\text{й}} = P_{\text{опт}} + P_{\text{атмб}}, \text{ дБ/км} \quad (6)$$

бу ерда  $P_{\text{опт}}$  – узаткичнинг чиқиш оптик параметрлари ва қабул қилгичнинг кириш параметрларининг номувофиқлиги туфайли оптик сигналнинг сўниши, дБ/км;

$P_{\text{атм}}$  – атмосферада оптик ахборот сигналининг сўниши, дБ/км.

Узаткич линзалари чиқишидаги оптик қувватнинг сатҳини ҳисоблаш инфрақизил диод нурлантирадиган ва узаткич линзасига бериладиган ёруғлик оқимининг қамраб олиш улушини ҳисобга олиш билан амалга оширилади.

Узаткич линзасининг қамраб олиш бурчаги қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$\alpha_{\text{қам}} = \arctg \left( \frac{D_{\text{уз}}}{2 \cdot F_{\text{уз}}} \right). \quad (7)$$

Узаткичнинг чиқишдаги оптик қувват қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$P_{\text{уз}} = 10 \cdot \lg \cdot \frac{P_{\text{нурл}} \cdot A_{\text{қам}}}{1 \text{ мВт}}, \text{ дБм} \quad (8)$$

бу ерда  $P_{\text{нурл}}$  – 1 мВтда ўлчанган инфрақизил нурлантирувчи диоднинг тўлиқ қуввати, дБм.

Ишчи станциянинг вазифаларига тестлашни инициализациялаш сигналларини генерациялаш ва борт модулига узатиши, шунингдек ҳаво кемаси тизимларининг ҳолати тўғрисида маълумотларни қабул қилиш ва ишлов бериш киради. Ишчи станция сифатида оптик узатиш ва сигналларни қабул қилиш учун уланган модулга, шунингдек ўрнатилган дастурий таъминотга эга бўлган портатив персонал компьютердан фойдаланиш мумкин.

Яратилган диагностика тизим ишлашининг дастурий таъминоти персонал компьютерга уландиган оптик USB-қабул қилгич/узаткичнинг маълумотлари орқали парвоз вақтида пайдо бўладиган носозликлар ҳақидаги маълумотларни аниқлайди.

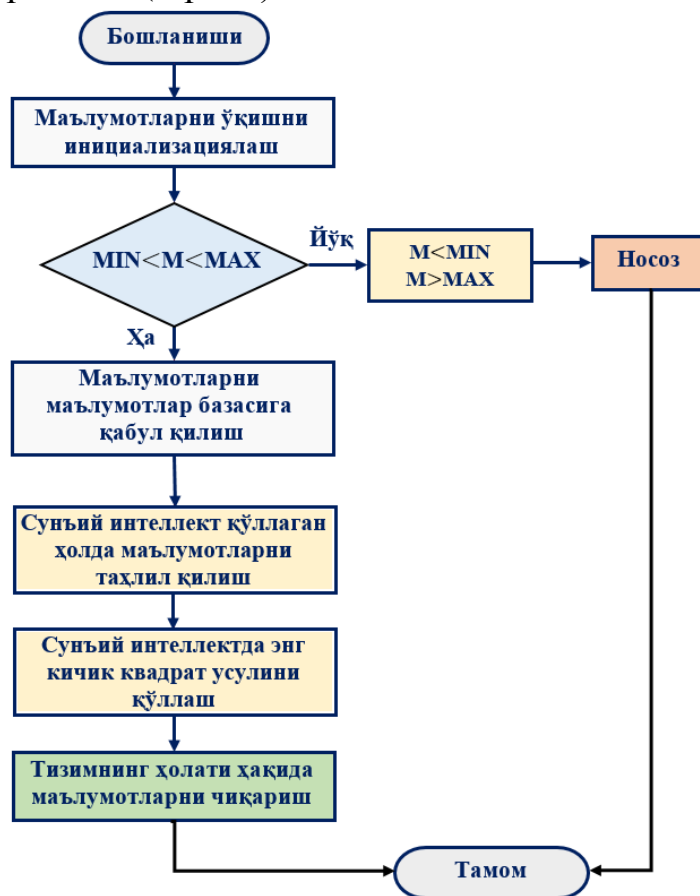
Дастурий таъминот сифатида РНР дастурлаш тилида яратилган дастур персонал компьютерга ўрнатилади.

Дастурда учта ишлаш режимлари кўзда тутилган:

- 1) Ўрнатилган назорат қилиш марказлаштирилган тизими хатоликлар хотирасидан маълумотларни ўқиш режими;
- 2) Ўрнатилган назорат қилиш марказлаштирилган тизими орқали ҳаво

кемаси тизимларини носозликларни аниқлаш режими;

3) Ўрнатилган назорат қилиш марказлаштирилган тизимдан олинган маълумотларни сунъий интеллектни қўллаган ҳолда таҳлил қилади ва таҳлиллар натижасига кўра жиҳознинг яна қанча муддат эксплуатация қилиш вақтини аниқлаш режими (3-расм).

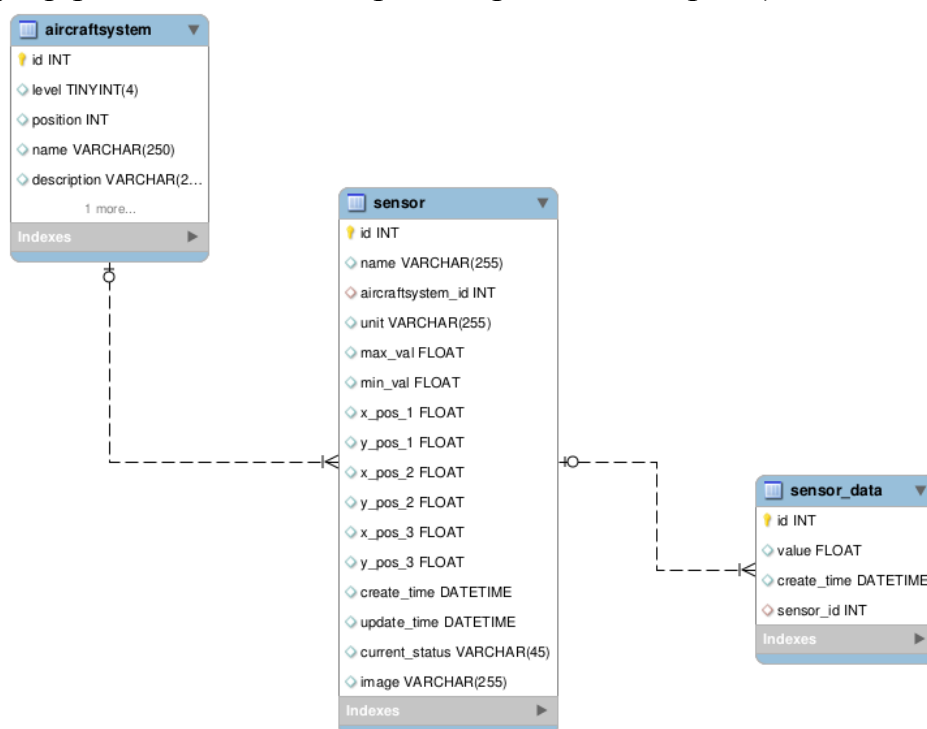


3-расм. Ўрнатилган назорат қилиш марказлаштирилган тизими хатоликлар хотирасидан маълумотларни ўқиш режимида тизимнинг ишлаш алгоритми

Тизимларни тестлаш режимида дастур ҳар бир ҳаво кемаси тизимини тестлашни инициализациялашни ўрнатилган назорат қилиш марказлаштирилган тизимига жўнатмалари ва тестланадиган тизимдан тестлаш натижаларини олиш тартибини аниқлайди. Ҳар бир параметр унга ажратилган хотира ячейкасига ёзилади. Бунда ўрнатилган назорат қилиш марказлаштирилган тизими фақат тестларни инициализациялайди, ҳар бир тизимни тестлаш алгоритмлари эса унинг блоклариди сақланиши ҳисобга олинади, шунинг учун ишчи станциянинг хотирасига тизимларни текшириш барча алгоритмларни киритишга ҳожат йўқ. Ўрнатилган назорат қилиш марказлаштирилган тизими хатоликлар хотирасидан маълумотларни ўқиш процедураси ишга туширилгандан кейин командалар ҳисоблагичи ёқилади. “М” маълумотларни ўқиш кўзда тутилади. Санок 1-манзилли маълумотлардан бошланади. Маълумотлар ҳақида команда фазовий оптик алоқа йўли форматига ўзгартирилади. Командалар жўнатилгандан кейин тизимнинг борт модулидан жавоб кутилади. Маълумотлар персонал компьютернинг 1-хотира ячейкасига қабул қилинади, бу ердан маълумотлар ишлов беришга берилади.

Командалар сонининг белгиланган чегарага етганлиги параллел таҳлил қилинади. Таҳлил натижасига кўра агарда маълумот белгиланган минимум ва максимум кўрсаткичлар оралиғида бўлмаса дастур уни “носоз” эканлигини кўрсатади. Агарда берилган маълумот минимум ва максимум кўрсаткичлар оралиғида бўлса маълумотлар базасига киритилади. Базага киритилган маълумот сунъий интеллект қўлланилган ҳолда олдин маълумотларни қайтадан таҳлил қилади ва энг кичик квадрат усулини қўллаган ҳолда жиҳозни яна қанча эксплуатация қилиш мумкинлиги ҳақидаги маълумотни чиқаради.

Яратилган тизим учун диагностика қилиш дастурини ишлаб чиқишда РНР (Hypertext Preprocessor) дастурлаш тилининг 7+ версияси орқали “Yii2” фремворкидан фойдаланган ҳолда яратилган. РНР веб-иловаларни ишлаб чиқишда кенг қўлланиладиган “С” га ўхшаш дастурлаш тили. Маълумотлар базаси MySQL релацион тизими орқали яратилган (4-расм).



**4-расм. Маълумотлар базасидаги яратилган жадваллар ва уларнинг ўзаро боғланиши**

Яратилган масофадан диагностика қилиш тизими дастурида авиацион жиҳозларнинг ҳолатини аниқлашда сунъий интеллект қўлланган бўлиб, унда “Энг кичик квадрат усули”дан фойдаланилган. Авиацион жиҳоздаги носозликни аниқлаш “Регрессия таҳлилидаги энг кичик квадратлар усули”га асосланади.

Айрим “ $y$ ” ўзгарувчининг “ $n$ ” қиймати ва шунга мос келадиган ўзгарувчиларни “ $x$ ” қилиб олинади. Бу ерда вазифа “ $y$ ” ва “ $x$ ” ўртасидаги боғлиқликни, баъзи бир номаълум “ $b$ ” параметргача маълум бўлган баъзи  $f(x, b)$  функцияси бўйича аниқлашдан иборат.

$$f(x, b) = y_t, t = 1, \dots, n. \quad (9)$$

Регрессия таҳлилида, эконометрикада ўзгарувчилар ўртасидаги муносабатларнинг эҳтимоллик моделлари қўлланилади.



$$y_t = f(x_t, b) + e_t, \quad (10)$$

бу ерда  $e_t$  – тасодиғий модель хатолари деб аталади.

Шунга кўра, “ $y$ ” нинг кузатилган қийматларининг  $f(x, b)$  моделидан оғишлари моделнинг ўзида қабул қилинган. “Энг кичик квадратлар усули”нинг моҳияти шундай “ $b$ ” параметрларни топишдан иборат бўлиб, улар учун  $e_t$  квадрат оғишлар йиғиндиси минимал бўлади:

$$b_{OLS} = \operatorname{argmin}RSS(b), \quad (11)$$

бу ерда  $RSS$  – квадратларнинг қолдиқ йиғиндиси (Residual Sum of Squares).

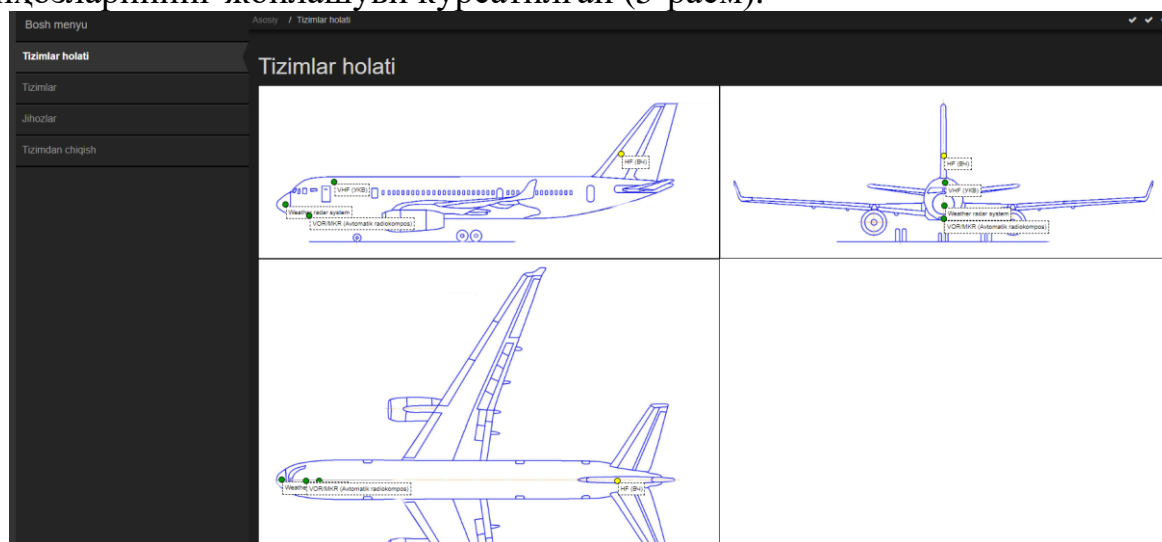
$$RSS(b) = e^T e = \sum_{t=1}^n e_t^2 = \sum_{t=1}^n (y_t - f(x_t, b))^2. \quad (12)$$

Умумий ҳолда, бу муаммони рақамли оптималлаштириш усуллари билан ҳал қилиш мумкин. Бундай ҳолда, чизиқли бўлмаган энг кичик квадратлар усулидан фойдаланилади. Кўп ҳолларда аналитик ечимни олиш мумкин. Минималлаштириш масаласини ечиш учун  $RSS(b)$  функциясининг номаълум параметрларга нисбатан дифференциаллаш, ҳосилаларни нолга тенглаштириш ва ҳосил бўлган тенгламалар тизимини ечиш йўли билан унинг стационар нуқталари топилади.

$$\sum_{t=1}^n (y_t - f(x_t, b)) \frac{df(x_t, b)}{db} = 0. \quad (13)$$

“Регрессия таҳлилидаги энг кичик квадратлар усули” билан биргаликда “Чизиқли регрессия ҳолатида энг кичик квадратлар усули”дан ҳам фойдаланилган.

Яратилган масофадан диагностика қилиш тизими дастурининг “Тизимлар ҳолати” ойнасида ҳаво кемасининг уч тамондан кўриниши ва авиация жиҳозларининг жойлашуви кўрсатилган (5-расм).



5-расм. “Тизимлар ҳолати” ойнасида ҳаво кемасининг уч тамондан кўриниши ва авиация жиҳозларининг жойлашуви

“Тизимлар ҳолати” ойнасида авиация жиҳозларининг жойлашуви кўрсатилиши билан биргаликда уларнинг ҳолати ҳам акс эттирилган. Агарда авиацион жиҳоз “яшил” рангда кўрсатилса, унинг ишлаш ҳолати аъло ҳолатдалигини билдириради. Бу жиҳознинг эксплуатация қилиш муддати 2 ой қолгунгача “яшил” рангда кўрсатади. “Сариқ” ранг унинг ишлаш ҳолати яхшилигини ва эксплуатация қилиш муддати 2 ой қолганини билдиради.

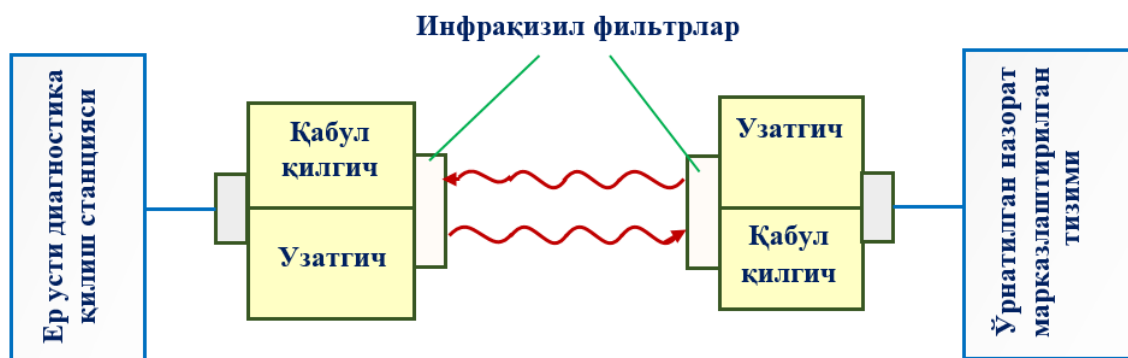
“Қизил ранг” авиацион жиҳознинг ишлаш ҳолати қониқарли, лекин эксплуатация қилиш муддати 1 ойдан кам қолганини билдиради.

Учинчи боб “**Яратилган диагностика тизимини амалиётга қўллаш**” деб номланиб, ишлаб чиқилган диагностика тизимини қўллашда аэропортлардаги ер усти қурилмаларинининг имкониятларининг таҳлили, унинг қўлланилиши ва иқтисодий самарадорлиги келтирилган.

Ер усти станцияси қабул қилгич/узаткичи ҳаво кемасининг тўхташ жойига нисбатан 100-200 м масофага жойлаштирилади. Бунда ер усти станциясининг жойлашуви катта аҳамиятга эга. Ер усти станцияси ҳаво кемасининг чиқариш/тушириш учун мўлжалланган томонига қаратилган ҳолда фойдаланилади ва фазовий оптик алоқа йўлидан фойдаланилганлиги сабабли уларнинг ўртасида алоқага таъсир кўрсатувчи предметлар бўлмаслиги талаб этилади.

Ер усти станцияси ва борт қисмининг маълумот алмашинувида уларнинг ўртасидаги ҳар хил турдаги предметлардан ташқари об-ҳавонинг ҳолати ҳам сезиларли даражада таъсир этади.

Йўловчиларни чиқариш/тушириш учун сигнал ўтказгичининг бириктирилиши муносабати билан тизим борт қисмининг инфрақизил филтрли ойнасини йўловчилар эшиги остига жойлаштириш мақсадга мувофиқ. Ҳаво кемаси тўхташ жойига ажратилган белгиларга мувофиқ аниқ жойлаштирилиши сабабли, ер усти қабул қилгич/узаткичи тўғридан тўғри борт қисмига қаратилган ҳолда фойдаланиш талаб этилади. “Тошкент халқаро аэропорти” шароитларида тизимнинг элементларини жойлаштириш бўйича мавжуд имкониятлардан келиб чиқиш билан параметрларни масофадан назорат қилиш тизими конструкциясининг варианты таклиф қилинган (6-расм).



**6-расм. Таклиф қилинаётган масофадан назорат қилиш тизимининг тузилиш схемаси**

Фазовий оптик алоқа йўли ҳаво кемаси ва ер усти станцияси орасида маълумотларни алмашлашни таъминлайди. Ҳам борт, ҳам ер усти тизимининг асосий элементи оптик қабул қилгич ва узаткичлардан ташкил топган оптик қабул қилгич/узаткичлар ҳисобланади.

Маълумотларни узатиш модуляцияланган инфрақизил нурлар орқали амалга оширилади. Ер усти қабул қилгич/узаткичи диагностика қилиш станцияси (персонал компьютер) билан кабель орқали уланган. Тизимнинг

борт қисми ва ер усти станция орасидаги маълумотларни алмашлаш тўлиқ дуплекс режимда амалга оширилади.

Узаткич транзистор орқали бошқариладиган ёруғлик диодли матрицадан иборат. Электр сигнали транзисторга берилади ва ёруғлик диодли матрица орқали инфрақизил сигналга ўзгатирилади.

Ёруғлик диодли матрица кетма-кет уланган ёруғлик диодлар гуруҳи бўлиб, уларнинг йиғинди қуввати битта ёруғлик диоднинг қувватидан катта бўлади. Ёруғлик диодли матрица орқали жуда кенг нур ҳосил қилинади, ундан кейин вазифаси ёруғлик нурларини тўплаш ва узаткичнинг чиқиш нуруни шакллантириш бўлган призма ўрнатилади.

Фазовий оптик алоқа йўли ҳар иккала йўналишларда бир вақтда маълумотларни қабул қилиш ва узатишни таъминлаш билан дуплекс режимда ишлайди. Дуплекс алоқа узаткич сигнални ўша бир қабул қилгич/узаткичнинг қабул қилиш қисмига тушмаслиги шартда амалга оширилади. Бунинг учун инфрақизил фильтр инфрақизил ойна икки қисмга ажратилган. Ажраткич призмага тушадиган ёруғлик нуруни цилиндрсимон линзага тушадиган ёруғлик нуридан ажратади. Шундай қилиб, узаткичдан ёруғлик нури қабул қилгичнинг фотодиодига тушиши мумкин. Бу тизимга тўлиқ дуплекс режимида ишлашга имкон беради

Таклиф этилган масофадан диагностика қилиш тизимининг иқтисодий самарадорлиги ҳисобланди. Унда “Uzbekistan airways technics” МЧЖ да ҳаво кемаларига техник хизмат кўрсатувчи муҳандисларнинг фаолияти ва уларнинг иш ҳақлари ўрганилган ҳолда амалга оширилди. “Uzbekistan Airways” АЖда эксплуатация қилинаётган А-320 ва А-321 ҳаво кемаларининг 2022 йилнинг 6 ой мобайнидаги парвозлар маълумотлари таҳлил қилинди. Таҳлиллар натижасида янги тизимни қўллаш орқали бир ойда ўртача 143 955 842 сўмни ҳамда бир йилда ўртача 1 727 470 113 сўмни иқтисодий тежаб қолишга эришилиши ҳисоблаб чиқилган.

## ХУЛОСА

“Замонавий таркибий қисмлар асосида авиацион жиҳозларнинг мажмуавий диагностика тизимларини яратиш” мавзусидаги техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича ўтказилган тадқиқот натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилган:

1. Ҳаво кемасининг авионикаси таҳлил қилинган ва авиацион жиҳозларни диагностика қилиш усуллари тадқиқ қилинган ҳамда ҳаво кемасига техник хизмат кўрсатиш жараёнида вақт сарфларини ўрганган ҳолда, ҳаво кемаларининг белгиланган вақтда техник кўрикдан ўтиши, рейсинг кечикиш муаммосининг ечими сифатида ҳаво кемасининг авиацион жиҳозларини масофадан мажмуавий диагностика қилиш тизимидан фойдаланиш зарурати аниқланган. Натижада ҳаво кемаларининг авиацион жиҳозларини масофадан мажмуавий диагностика қилувчи тубдан янги диагностика тизими яратилган.

2. Ҳаво кемасига парвоздан кейин техник хизмат кўрсатиш жараёнида

авиацион жиҳозларни масофадан мажмуавий диагностика қилиш тизими учун фазовий оптик алоқа йўли танланган. Натижада янги масофадан мажмуавий диагностика тизимининг радиоалоқа узаткич ва қабул қилгич қурилмалари танланган.

3. Тадқиқотлар натижасида ҳаво кемасидаги авиацион жиҳозларнинг ҳолатини масофадан мажмуавий диагностика қилишда замонавий таркибий қисмлар асосида ҳаво кемасидаги авиацион жиҳозларнинг борт маълумотларини масофадан узатиш учун инфрақизил диапазони танланган. Натижада инфрақизил диапазонда ишловчи халақитбардош модуллар асосида яратилган диагностика тизимининг тузилиш схемаси ишлаб чиқилган.

4. Замонавий таркибий қисмлар асосида авиацион жиҳозларнинг мажмуавий диагностика тизимининг алгоритми ва компьютер дастури ишлаб чиқилган. Натижада авиацион жиҳозларга техник хизмат кўрсатиш вақтининг 1,5-1,6 мартаба камайишига, аэродромнинг имконияти ошишига ва авиацион жиҳозларнинг носозлигини аниқлаш ҳамда эксплуатация қилиш муддатини олдиндан билиш имконияти яратилган.

5. Ўзбекистон ҳудудида жойлашган аэропортларда мазкур яратилган ҳаво кемасини авиацион жиҳозларини мажмуавий диагностика қилиш тизимини қўллашда аэропортнинг иқлим шароитлари таҳлил қилинган. Таҳлиллар асосида туман, ёмғир, қор ва қуёш нурлари таъсирида инфрақизил диапазонда маълумотлар алмашилишига таъсири ўрганилган. Натижада турли об-ҳаво шароитларида оптик сигналнинг сўниши маълумотлари олинган.

6. Масофадан мажмуавий диагностика қилиш тизимини ҳаво кемаси ва ер усти жиҳозларига ўрнатишда, ер усти қабул қилгич/узаткичи ёрдамида аэропортдаги мавжуд ҳаво кемалари мисолида уларнинг авиацион жиҳозларини масофадан диагностика қилиш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилган. Телескопик зинапоя ҳаво кемасининг тушиш-чиқиш эшигига ўрнатилади, шунинг учун тизимнинг ер усти станциясининг қабул қилгич/узаткичини ҳаво кемасининг телескопик зинапоя ўрнатиладиган томонга қаратиб 100-200 м масофада ўрнатиш таклифи берилган.

7. Яратилган масофадан мажмуавий диагностика қилиш тизимининг иқтисодий самарадорлиги ҳисобланган. “Uzbekistan Airways” АЖда фойдаланилаётган А-320 ва А-321 ҳаво кемаларининг 2022 йилнинг 6 ой мобайнидаги парвозлар маълумотлари таҳлил қилинган. Натижада янги масофадан мажмуавий диагностика тизимини қўллаш орқали бир ойда ўртача 143 955 842 сўмни ҳамда бир йилда ўртача 1 727 470 113 сўмни иқтисодий тежаб қолишга эришилиши ҳисоблаб чиқилган.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ НАУЧНЫХ  
СТЕПЕНЕЙ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА  
PhD.15/31.08.2022.Т.73.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**МАТУРАЗОВ ИЗЗАТ СОЛИЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ  
АВИАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННОЙ  
ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ**

**05.02.08 – Наземные комплексы и летательные аппараты**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2023**



Тема диссертации доктора философии по техническим наукам (PhD) зарегистрирована Высшей аттестационной комиссией при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В2018.2.PhD/Т745.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете. Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-сайте Научного Совета ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) и Информационно-образовательном портале «Ziynet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Абдукаюмов Абдурашид**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Рахимов Бахтиёржон Ньматович**  
доктор технических наук, профессор

**Саитов Азиз Азимович**  
доктор философии по техническим наукам

**Ведущая организация:**

**Ташкентский государственный  
технический университет имени Ислама  
Каримова**

Защита диссертации состоится 25 марта 2023 г. в 16<sup>00</sup> часов на заседании разового Научного совета на основе Научного совета PhD.15/31.08.2022.Т.73.01 при Ташкентском государственном транспортном университете. (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (регистрационный номер - 091). (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1. Тел.: (99871) 299-05-66.

Автореферат диссертации разослан 10 марта 2023 года.  
(протокол реестра №009 от 9 марта 2023 года).



**Н.М. Арипов**  
Председатель Научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
д.т.н., профессор

**Ш.М. Суюнбаев**  
Ученый секретарь Научного совета  
по присуждению ученых степеней,  
д.т.н., профессор

**М.Х. Расулов**  
Председатель Научного семинара  
при Научном совете по присуждению  
учёных степеней, к.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В связи с растущим спросом на авиационную отрасль в мире, особое значение придается увеличению трафика воздушных судов в аэропортах и в то же время управлению движением на взлетно-посадочных полосах, а также обеспечению быстрого и эффективного обслуживания воздушных судов. Техническое обслуживание воздушных судов требует выполнения множества операций и это может привести к задержке рейсов. Эта проблема наблюдается<sup>1</sup> в аэропортах развитых стран, в том числе таких стран, как Франция, Англия, Германия, Испания, Италия, США, Китай, Япония, Сингапур, Австралия, ОАЭ, Южная Корея и других. Особое значение придается вопросам совершенствования системы технического обслуживания воздушных судов после полета. Поэтому сокращение времени технического обслуживания воздушных судов является одной из актуальных проблем в обеспечении качественного обслуживания пассажиров.

В мире большое внимание уделяется исследованиям и разработкам, направленным на сокращение времени выхода из строя авиационного оборудования, диагностике и техническому осмотру в процессе послеполетного обслуживания воздушных судов. В этом направлении, в том числе, особое значение имеет проведение научно-исследовательских работ по оптимизации процессов технического обслуживания воздушных судов и совершенствованию системы диагностики авиационного оборудования. В связи с этим совершенствование методики технического обслуживания диагностирования технического состояния авиационного оборудования воздушного судна, разработка метода дистанционной передачи бортовых данных на основе современных элементов, создание системы дистанционной диагностики взамен существующей системы диагностики считаются важными актуальными задачами.

В нашей республике реализуется ряд мероприятий по сокращению времени процессов технического обслуживания воздушных судов, по их соблюдению и контролю, с целью улучшения услуг по развитию транспортной отрасли, в том числе авиационной отрасли, с целью создания комфорта для пассажиров. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы определены важные задачи, такие, как «Развитие единой транспортной системы во взаимосвязи со всеми видами транспорта ..., развитие рынка транспортных и логистических услуг и инфраструктуры ..., расширение «зеленых коридоров» и транзитных возможностей в транспортной системе ..., ... поднятие на высокий уровень тесного сотрудничества в области безопасности, торгово-экономической, водной, энергетической, транспортной ...»<sup>2</sup>. Реализация этих задач, в том числе совершенствование системы диагностики авиационного оборудования при техническом обслуживании

<sup>1</sup> <https://crisis24.garda.com/alerts/2022/12/germany-flight-disruptions-are-likely-at-frankfurt-airport-through-december>.

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

воздушных судов, считается одной из важных задач.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит для выполнения задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», № УП-6079 от 5 октября 2020 г. «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан – 2030» и мерах по ее эффективной реализации», №УП-5584 от 27 ноября 2018 г. «О мерах по кардинальному совершенствованию гражданской авиации республики Узбекистан» и Постановлении №ПП-412 от 26 октября 2022 г. «О дополнительных мерах по развитию местных авиасообщений в республике», а также других нормативных и правовых документах, относящимся к данной деятельности.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в рамках приоритетного направления развития науки и техники республики IV – «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** В настоящее время производители воздушных судов активно работают над созданием системы дистанционной диагностики. При этом стоит сказать, что многие разработки рассчитаны на обслуживание не только конкретного самолета, но многих типов воздушных судов. Разработанные на сегодняшний день средства дистанционного управления самолетом обычно основаны на передаче данных с использованием ультракоротких волн. Производители воздушных судов, такие как Boeing и Airbus, используют передачу данных на частоте 60 МГц для диагностики беспроводного оборудования на самых современных самолетах. Кроме того, протоколы обмена данными в этих системах считаются коммерческой тайной, и информация о них нигде не публикуется. Научные исследования, направленные на совершенствование системы диагностики при техническом обслуживании самолетов и улучшение выявления неисправностей авиационного оборудования воздушных судов, проводятся в ведущих мировых научных центрах и университетах, в том числе в Las Palmas de Gran Canaria (Испания), Technical University Berlin (Германия), Konkuk University (Корея), Московском авиационном институте (национальный исследовательский университет) (Россия) и Ташкентском государственном транспортном университете (Узбекистан).

Мировые ведущие исследователи по совершенствованию авиационного оборудования воздушных судов и процессов их технического обслуживания, такие как J.Perez-Mato, R.Perez-Jimenez, J.Tristancho, E. Poves, J.A. Martin-Gonzalez, S. Rodriguez, E.T. Нурушев, А.В. Бабак, О.Н. Скрыпник, Г.И. Ключев, Б.А. Никольский, А.Н. Коптев, В.А. Прилепский, О.Ф. Машошин, S. Petersen, S. Krasiewski, J.R. Todd и другие проводят научно-технические исследования по этому направлению. Исследования, направленные на решение технических и технологических вопросов воздушных судов и их авиационного



оборудования в нашей стране нашло отражение в научных трудах А. Абдукаюмова, Р.Х. Саидахмедова, Х.Х. Хуснутдиновой, А.Х. Султанова, Н.А. Абдужабарова, К.К. Кадирбековой, Т.А. Сагдиева, Д.Э. Эшмурадова, Р.Г. Закирова и других ученых.

Однако вопросы совершенствования системы технического обслуживания авиационного оборудования воздушных судов до конца не рассмотрены. Также, недостаточно изучен вопрос совершенствования системы дистанционной комплексной диагностики авиационного оборудования воздушных судов в масштабах Узбекистана.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках плана НИР прикладного проекта по программе ERASMUS+ Европейского Союза 561989-EPP-1-2015-1-UK-EPPKA2-CBHE-JP «Безопасность полетов и летная годность» (2015-2018 гг.) в Ташкентском государственном техническом университете.

**Целью исследования** является создание комплексной системы диагностики авиационного оборудования на основе современных компонентов в процессе технического обслуживания воздушного судна.

**Задачи исследования:**

анализ авионики воздушных судов, их контроль, а также исследование средств и методов диагностики;

оценка эффективности системы дистанционного обнаружения состояния радиоэлектронного оборудования на борту воздушного судна и формирование требований к ней;

выбор передатчиков и приемников системы атмосферной оптической линии связи для комплексной системы диагностики авиационного оборудования на базе современных элементов;

создание комплексной системы диагностики авиационного оборудования на основе современных элементов;

разработка программы для ЭВМ дистанционной комплексной системы диагностики.

**Объектом исследования** является система дистанционной комплексной диагностики авиационного оборудования на базе современных элементов, бортовой комплекс дистанционной комплексной системы диагностики и централизованный наземный комплекс дистанционной комплексной системы диагностики.

**Предметом исследования** являются приемно-передающие устройства и алгоритм работы компьютерной программы атмосферной оптической линии связи дистанционной комплексной диагностической системы.

**Методы исследования.** В процессе исследования использовались методы научного анализа, наименьших квадратов, теория вероятностей, данных и алгоритмов.

**Научная новизна** исследования заключается в следующем:

усовершенствована методика послеполетного обслуживания за счет выбора атмосферной оптической линии связи при дистанционной диагностике воздушного судна;

разработан метод контроля состояния авиационного оборудования и дистанционной комплексной диагностики с учетом гашения оптического сигнала в метеоусловиях;

на современных элементных базе разработан метод дистанционной передачи бортовой информации авиационного оборудования на воздушном судне с учетом электромагнитной гибкости и помехоустойчивых модулей, работающих в инфракрасном диапазоне;

создана математическая модель системы дистанционной комплексной диагностики, определяющей отказ и срок службы авиационного оборудования, и ее алгоритм с учетом рабочих параметров радиоэлектронных средств.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

создана комплексная система диагностики авиационного оборудования на основе современных элементов с учетом процесса технического обслуживания воздушных судов;

разработаны инструментальные средства в виде алгоритмов и программных комплексов, выявляющих неисправности в авиационном оборудовании самолета путем анализа данных, поступающих через дистанционную комплексную систему диагностики.

**Достоверность результатов исследования.**

Достоверность результатов исследований объясняется разумным применением основных закономерностей, теорий и методов расчета атмосферных оптических линий связи с дистанционной комплексной диагностикой и взаимной совместимостью экспериментальных результатов.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования объясняется теоретическими основаниями создания системы дистанционной комплексной диагностики авиационного оборудования на базе современных элементов, разработкой информационно-программных средств выявления неисправностей и схем авиационного оборудования.

Практическая значимость результатов исследования объясняется тем, что при дистанционной диагностике радиоэлектронного оборудования воздушного судна возможен контроль и других оборудований, а также передача и прием системных сигналов через атмосферную оптическую линию связи.

**Внедрение результатов исследования.** На основании результатов, полученных с помощью системы дистанционной диагностики, разработанной для технического обслуживания воздушных судов:

система дистанционной диагностики авиационного оборудования ВС внедрена в ООО «Uzbekistan airways technics» (справка Министерства

транспорта Республики Узбекистан от 22 сентября 2022 года №10/5772). В результате удалось сэкономить время обслуживания ВС в среднем на 50 минут, избежать задержек в процессе обслуживания, увеличить пропускную способность аэродрома, повысился уровень точности определения состояния технически неисправного оборудования и систем, а экономическая эффективность за счет достигнутого сокращения сроков диагностики достигнута в среднем на 143 955 842 сум в месяц и экономическая эффективность составила в среднем на 1 727 470 113 сум за год. Кроме того, увеличена пропускная способность аэропорта и достигнута дополнительная экономическая эффективность;

система дистанционной диагностики авиационного оборудования самолета внедрена на АО «Ташкентский механический завод» (справка Министерства транспорта Республики Узбекистан от 22 сентября 2022 года №10/5772). В результате удалось сэкономить время на техническое обслуживание ВС, избежать задержек в процессе ремонта, повысить уровень точности определения состояния технически неисправного оборудования и систем, сократить время выявления неисправного оборудования, достигнута экономия времени в 1,5-1,6 раза по сравнению с существующими технологиями.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждены на 9 научно-практических конференциях, в том числе на 2 научных конференциях в базе Scopus, на 5 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 15 научных работ, из них 4 статьи в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 2 в республиканских и 2 в зарубежных научных журналах, а также получено авторское свидетельство на 1 программное обеспечение для ЭВМ от Агентства интеллектуальной собственности при министерстве юстиции Республики Узбекистан.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 114 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во **введении** изложены актуальность и востребованность диссертационного исследования в соответствии с приоритетами развития науки и техники Республики Узбекистан, описание основных целей и задач, а также объектов и предметов исследований, научной новизны и практических результатов, достоверность полученных результатов, теоретическая и практическая значимость результатов, информация о внедрении результатов исследования, сведений об опубликованных научных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Анализ средств и методов диагностики параметров наземной техники и воздушных судов**» анализируются устройства авионики воздушного судна. В ней рассмотрено основное диагностическое оборудование воздушных судов на примере самолетов А-320 и В-787, а также рассмотрены типы бортовых приборов.

Проанализированы существующие системы комплексной диагностики воздушных судов, а так как наиболее широкое распространение среди авиационных систем получили интегрированные модульные системы авионики, позволяющие осуществлять обмен данными в формате стандарта ARINC 429, соответственно был проанализирован ARINC 429.

Рассмотрен принцип работы обобщенных систем информационно-измерительного комплекса воздушных судов.

В результате проведенных исследований было выделено, что в современных воздушных судах используются централизованные системы диагностики, позволяющие выявлять и сохранять в памяти отказ любой системы воздушного судна.

Рассмотрены системы и методы диагностирования авиационных приборов. В связи с разнообразием имеющихся на сегодняшний день систем технической диагностики представлена их классификация, а также системы их общего тестирования и функциональной диагностики.

Изучены автоматизированные диагностические системы, осуществляющие сбор и обработку диагностических данных с участием человека, и автоматические системы, позволяющие собирать и обрабатывать диагностические данные без участия человека.

После выполнения полета техническое обслуживание воздушного судна осуществляется техническим персоналом. В настоящее время практика показывает, что время между посадкой воздушного судна и его передачей техническому персоналу, естественно, время приема воздушного судна и передачи воздушного судна техническим специалистам аэропорта на территории Узбекистана составляет в среднем от 20 минут до 1 часа.

Во время технического обслуживания ожидание доставки запасных частей и время, затрачиваемое на устранение неполадок, являются случайными функциями, и каждая из них может вызвать задержку рейса. В качестве решения проблемы задержки планового рейса было предложено использование системы дистанционной диагностики параметров самолета, которая представляет собой технический осмотр самолета в заданное время.

В настоящее время анализируются существующие системы дистанционного управления параметрами воздушных судов. В результате анализа все они являются ультракоротковолновыми радиостанциями с возможностью передачи данных и предназначены для большого флота. Объясняется, что использование таких систем для небольшого флота требует больших финансовых затрат в экономическом отношении, и уж точно не целесообразно для малых флотов.

По результатам анализа предложена система дистанционного управления

авиационной техникой самолета посредством пространственной оптической связи.

Вторая глава «Создание комплексной системы диагностики авиационного оборудования» содержит анализ и классификацию современных средств беспроводной связи, используемых при разработке системы диагностики. В ней беспроводные локальные сети полностью соответствуют стандартам обычных проводных сетей и изучаются технологии, позволяющие создавать компьютерные сети, где не используются кабели. В таких сетях в качестве носителей информации используются радиоволны сверхвысоких частот или оптического диапазона.

В настоящее время наиболее популярной системой беспроводной связи в сверхвысокочастотном диапазоне является беспроводная локальная вычислительная сеть WirelessLAN (англ. Wireless Local Area Network (Беспроводная локальная сеть); WLAN). При таком способе построения сетей передача данных осуществляется по радиоканалу, устройства подключаются к сети без использования кабельных соединений. В настоящее время наиболее распространенными методами строительства является строительство на основе технологий Wi-Fi и WiMAX.

Существующие беспроводные технологии, основанные на передаче сигнала сверхвысокой частоты, не подходят для использования в аэропортах. Это объясняется тем, что их частотный диапазон (2-80 ГГц) частично перекрывается частотным диапазоном бортовых метеорологических и навигационных РЛС (10 ГГц), а также некоторых наземных РЛС. Кроме того, для установки приборов радиочастотного диапазона на борту воздушных судов необходимо учитывать их электромагнитную совместимость с установленными системами, что требует очень сложных согласований с производителями авиационной техники.

Для преодоления указанных недостатков предлагается использовать диагностические приборы, использующие атмосферно оптическую линию связи в качестве канала связи для дистанционной диагностики авиационного оборудования воздушного судна.

Разработана общая функциональная схема системы дистанционной комплексной диагностики авиационного оборудования воздушного судна. Проанализирована база элементов для реализации модулей системы.

Оптические сигналы, используемые в предлагаемой оптической системе, соответствуют стандарту передачи данных атмосферной оптической линии связи (АОЛС). Система дистанционной комплексной диагностики авиационного оборудования воздушного судна будет состоять из следующих модулей:

**Бортовой модуль воздушного судна** преобразует сигналы формата ARINC 429 в оптические сигналы для оптической передачи, а также преобразует принятые сигналы формата оптической связи в формат ARINC 429. Принимаемые бортовым модулем сигналы являются сигналами инициализации для тестирования различных систем воздушного судна, а

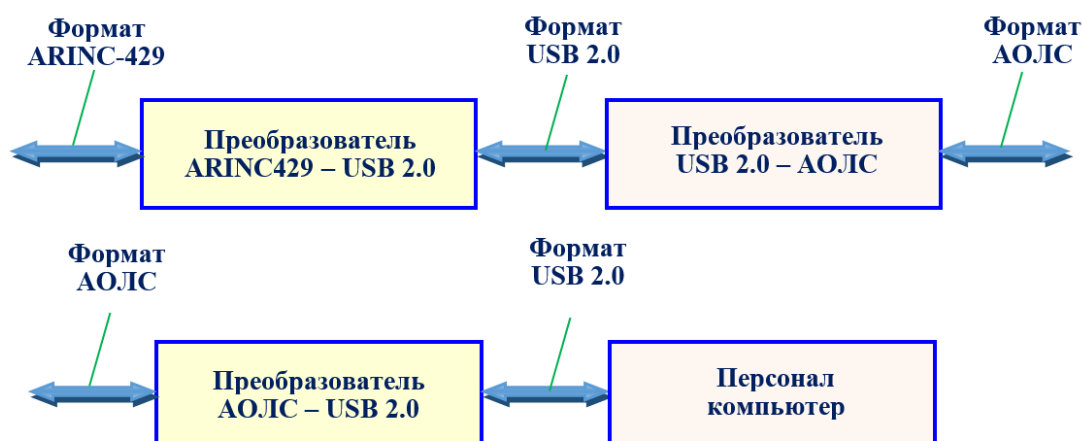
также передаваемыми из памяти установленной централизованной системы управления данными о состоянии устройства, полученными в результате тестирования.

В задачи **рабочей станции** входят формирование и передача тестовых сигналов инициализации на бортовой модуль, а также прием и обработка информации о состоянии систем воздушного судна. В качестве рабочей станции используется портативный персональный компьютер с подключенным модулем оптической передачи и приема сигналов, а также установленным программным обеспечением.

Для обеспечения экономической целесообразности системы необходимо максимально использовать готовые устройства и модули при разработке структурной схемы. Поэтому для построения подробной структурной схемы необходимо провести анализ основы элементов существующих оптоэлектронных преобразователей.

Определено, что использование готовых модулей для реализации системы является наиболее рентабельным. Предлагается двухэтапная модель преобразования электрических сигналов формата ARINC 429 в оптические сигналы – преобразование формата ARINC 429 в формат USB и преобразование данных USB в формат АОЛС. Предлагается использовать преобразователь ECE 0206 в качестве преобразователя формата ARINC 429 в формат USB.

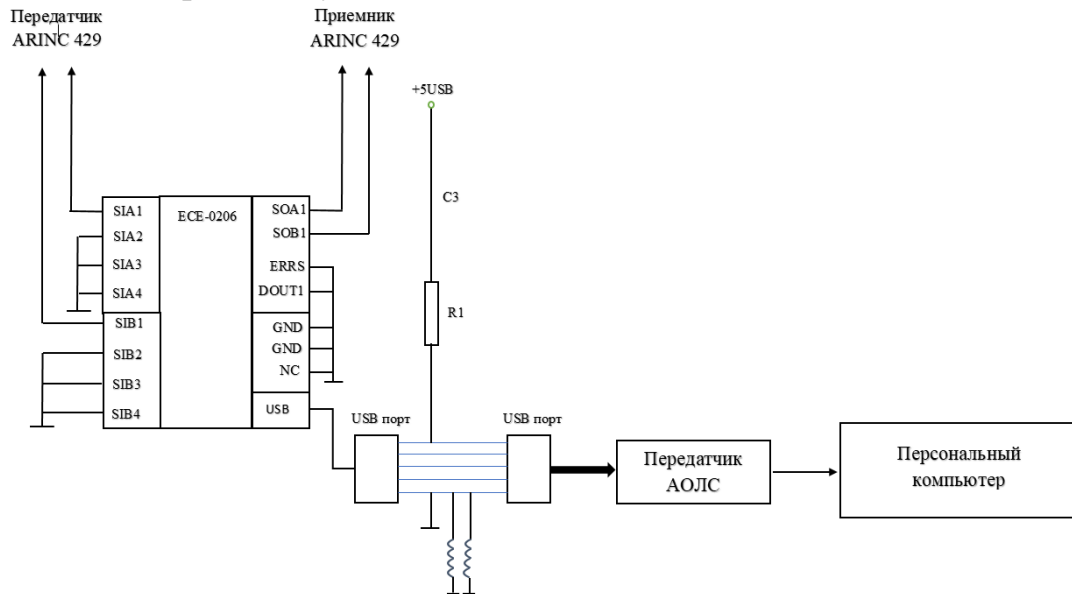
Бортовой модуль самолета выполняет преобразование сигналов из формата ARINC 429 в оптические сигналы для передачи по оптической линии, а также преобразование сигналов из принятого формата оптической связи в формат ARINC 429. Принимаемые бортовым модулем сигналы являются сигналами инициализации для тестирования различных систем самолета, а также передаваемыми из памяти установленной централизованной системы управления данными о состоянии устройства, полученных в результате тестирования (рис. 1).



**Рис. 1. Состав бортового модуля воздушного судна и наземной станции**

В предлагаемой схеме в качестве инфракрасного приемника/передатчика используется FSO-устройство M1-FE-L ARTOLINK. Вся схема питается от разъема USB 5В (рис. 2).

Расчет оптической системы сводится к определению доли мощности инфракрасного излучения, попадающей на фотоприемник. Очевидно, чем больше эта доля, тем эффективнее передача сигнала от оптического передатчика к приемнику.



**Рис. 2. Принципиальная схема предлагаемой дистанционной комплексной диагностической системы**

Потери информационного оптического сигнала за счет рассеяния оптического луча определяются отношением площади оптического пятна в плоскости фоторецепторной линзы к площади фоторецепторной линзы по законам геометрической оптики, то есть на площадь линзы фоторецептора приходится часть инфракрасного излучения, пропорциональная следующему соотношению:

$$A_{\text{каб}} = \left( \frac{D_{\text{дд}}}{D_{\text{каб}}} \right)^2, \quad (1)$$

где  $D_{\text{дд}}$  – диаметр светового пятна, м;

$D_{\text{каб}}$  – диаметр объектива инфракрасного приемника, м.

По законам геометрической оптики:

$$D_{\text{дд}} = L \cdot Q_{\text{ажр}}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{ажр}}$  – угловой разнос излучения на выходе передатчика, равный:

$$Q_{\text{ажр}} = \frac{A}{F_{\text{уз}}}, \quad (3)$$

где  $A$  – размер источника излучения в передатчике, м;

$F_{\text{уз}}$  – фокусное расстояние передающей линзы, м.

В атмосферной линии связи, как и при расчете основных параметров и характеристик волоконно-оптической линии связи, можно ввести понятие энергетического потенциала линии  $P_3$ :

$$P_3 = P_{\text{уз}} - P_{\text{каб}}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{уз}}$  – уровень мощности инфракрасного излучения на выходе оптического передатчика, дБм;

$P_{\text{уз. лин}}$  – оптическая мощность на выходе передающего объектива, дБм;

$P_{\text{каб}}$  – уровень мощности инфракрасного излучения на входе приемника, дБм, то есть:

$$P_{\text{каб}} = \lg \left( \frac{P_{\text{каб.лин}}}{1\text{мВт}} \right), \quad (5)$$

где  $P_{\text{каб.лин}}$  – оптическая мощность на входе объектива приемника, дБм.

Суммарные потери  $P_{\text{й}}$  в инфракрасной линии связи можно рассчитать по следующей формуле:

$$P_{\text{й}} = P_{\text{опт}} + P_{\text{атмб}}, \text{ дБ/км} \quad (6)$$

где  $P_{\text{опт}}$  – затухание оптического сигнала из-за несоответствия выходных оптических параметров передатчика и входных параметров приемника, дБ/км;

$P_{\text{атм}}$  – ослабление оптического информационного сигнала в атмосфере, дБ/км.

Уровень оптической мощности на выходе линзы передатчика рассчитывается с учетом доли покрытия светового потока, излучаемого инфракрасным диодом и поступающего на линзу передатчика.

Угол охвата линзы передатчика определяется следующим выражением:

$$\alpha_{\text{кам}} = \arctg \left( \frac{D_{\text{уз}}}{2 \cdot F_{\text{уз}}} \right). \quad (7)$$

Оптическая мощность на выходе передатчика определяется по следующей формуле:

$$P_{\text{уз}} = 10 \cdot \lg \cdot \frac{P_{\text{нурл}} \cdot A_{\text{кам}}}{1\text{мВт}}, \text{ дБм} \quad (8)$$

где  $P_{\text{нурл}}$  – полная мощность инфракрасного светодиода измерена при 1 мВт, дБм.

В задачи АРМ входит формирование и передача тестовых сигналов инициализации на бортовой модуль, а также прием и обработка информации о состоянии бортовых систем. В качестве рабочей станции может использоваться портативный персональный компьютер с подключенным модулем оптической передачи и приема сигналов, а также установленным программным обеспечением.

Программное обеспечение работы созданной диагностической системы определяет информацию о неисправностях, возникающих в полете, по данным оптического USB-приемника/передатчика, подключенного к персональному компьютеру.

В качестве программного обеспечения на персональный компьютер устанавливается программа, созданная на языке программирования РНР.

В программе предусмотрено три режима работы:

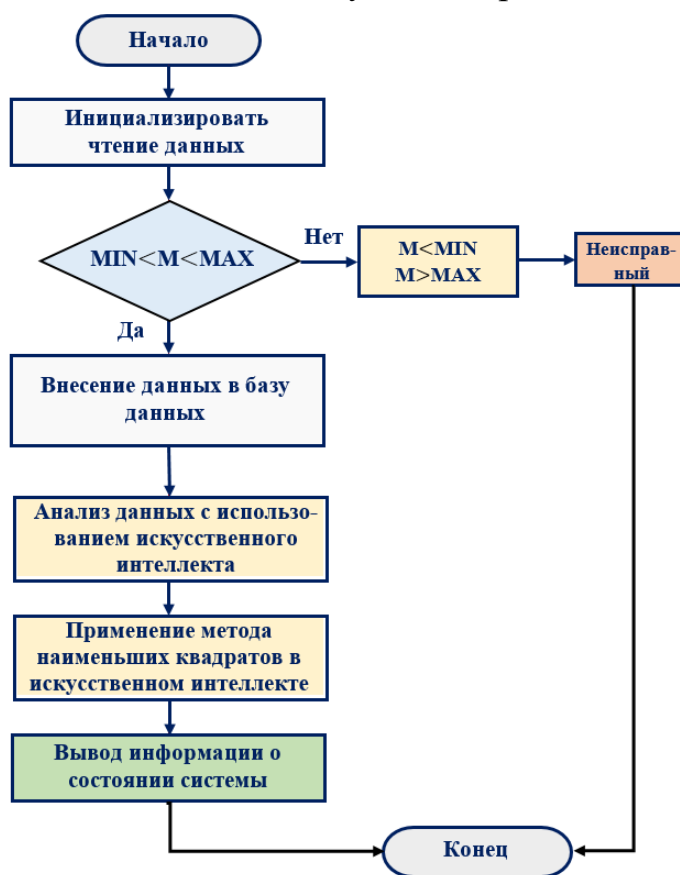
1) Режим чтения данных из памяти ошибок встроенной централизованной системы управления;

2) Режим поиска неисправностей систем самолета через установленную централизованную систему управления;

3) Встроенный мониторинг анализирует данные, полученные из централизованной системы с помощью искусственного интеллекта, и по результатам анализа запускается режим определения, сколько еще времени



оборудование будет находиться в эксплуатации (рис. 3).



**Рис. 3. Алгоритм работы системы в режиме чтения данных из памяти ошибок встроенной централизованной системы управления**

В режиме тестирования систем программа определяет порядок, в котором каждая инициализация тестирования систем воздушного судна отправляет сообщения в установленную централизованную систему управления и получает результаты тестирования от тестируемой системы. Каждый параметр записывается в отведенную ему ячейку памяти. При этом встроенная централизованная система управления только инициализирует тесты, при этом учитывается, что алгоритмы тестирования каждой системы хранятся в ее блоках, поэтому нет необходимости заносить все алгоритмы тестирования систем в память рабочей станции. Счетчик команд включается после запуска процедуры чтения данных из памяти ошибок встроенной централизованной системы управления. Ожидается, что «М» прочитает данные. Счет начинается с данных по адресу 1. Команда данных преобразуется в формат пространственного оптического пути. После отправки команд ожидается ответ от бортового модуля системы. Данные поступают в ячейку памяти 1 персонального компьютера, откуда данные передаются на обработку. Параллельный анализ выполняется, когда количество команд достигает заданного предела. По результату анализа, если данные не находятся в диапазоне заданных минимальных и максимальных показателей, программа отобразит их как «бракованные». Если заданная информация находится между минимальным и максимальным значениями, она будет включена в базу данных. Информация, введенная в базу данных, использует искусственный

интеллект для повторного анализа предыдущих данных и, используя метод наименьших квадратов, извлекает информацию о том, насколько еще можно эксплуатировать устройство.

При разработке диагностической программы для созданной системы она была создана с использованием фреймворка «Yii2» через язык программирования PHP (Hypertext Preprocessor) версии 7+. PHP – это “С” подобный язык программирования, широко используемый в разработке веб-приложений. База данных создается с использованием реляционной системы MySQL (рис. 4).

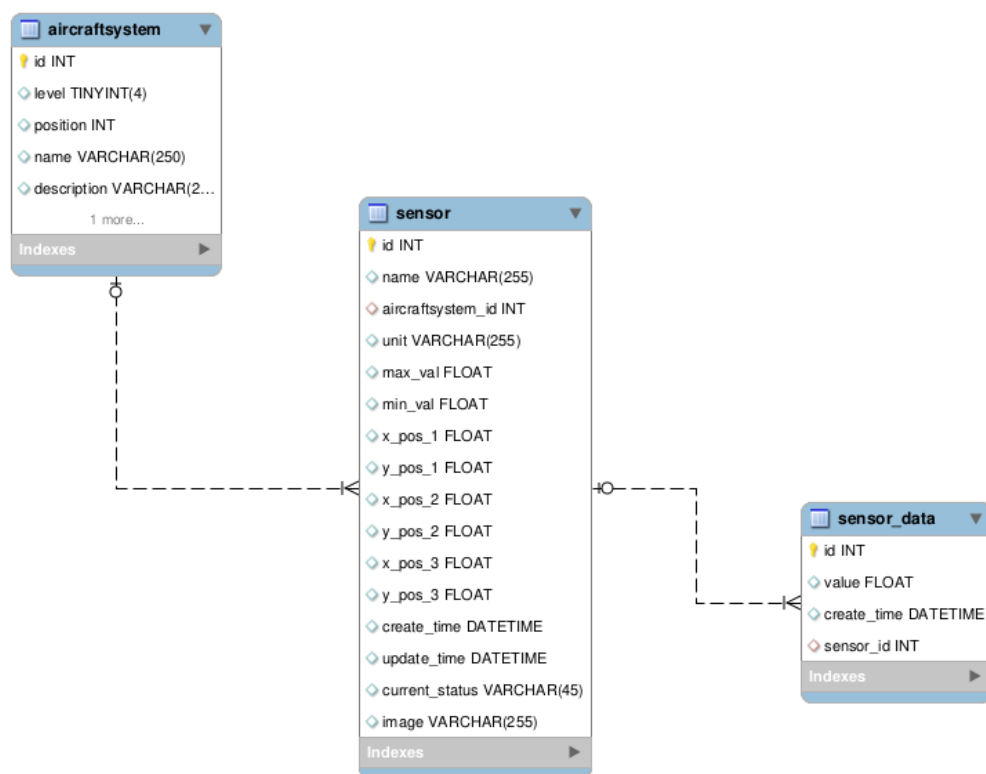


Рис. 4. Созданные таблицы в БД и их взаимосвязь

Программное обеспечение созданной системы дистанционной диагностики использует искусственный интеллект для определения состояния авиационной техники, используя «Метод наименьших квадратов». Обнаружение неисправностей в авиационной технике основано на «Методом наименьших квадратов в регрессионном анализе».

Берется значение « $n$ » некоторой переменной « $u$ » и соответствующие переменные « $x$ ». Здесь задача состоит в том, чтобы определить связь между « $u$ » и « $x$ » по некоторой функции  $f(x, b)$ , известной с точностью до неизвестного параметра « $b$ ».

$$f(x, b) = y_t, t = 1, \dots, n . \quad (9)$$

В регрессионном анализе в эконометрике используются вероятностные модели взаимосвязей между переменными.

$$y_t = f(x_t, b) + e_t , \quad (10)$$

где  $e_t$  –называется случайной ошибкой модели.

Соответственно в самой модели предполагаются отклонения

наблюдаемых значений « $u$ » от модели  $f(x, b)$ . Суть «Метода наименьших квадратов» состоит в том, чтобы найти параметры « $b$ », при которых сумма квадратов отклонений  $e_t$  минимальна:

$$b_{OLS} = \operatorname{argmin} RSS(b), \quad (11)$$

где RSS – остаточная сумма квадратов (Residual Sum of Squares).

$$RSS(b) = e^T e = \sum_{t=1}^n e_t^2 = \sum_{t=1}^n (y_t - f(x_t, b))^2. \quad (12)$$

В общем случае эта задача может быть решена методами численной оптимизации. В этом случае используется нелинейный метод наименьших квадратов. В большинстве случаев можно получить аналитическое решение. Для решения задачи минимизации находят стационарные точки функции  $RSS(b)$  путем дифференцирования функции по неизвестным параметрам, приравнивания производных к нулю и решения полученной системы уравнений.

$$\sum_{t=1}^n (y_t - f(x_t, b)) \frac{df(x_t, b)}{db} = 0. \quad (13)$$

Наряду с «Методом наименьших квадратов в регрессионном анализе» также использовался «Метод наименьших квадратов в линейной регрессии». Окно «Статус систем» созданной программы системы дистанционной диагностики показывает трехмерный вид воздушного судна и расположение авиационного оборудования (рис. 5).

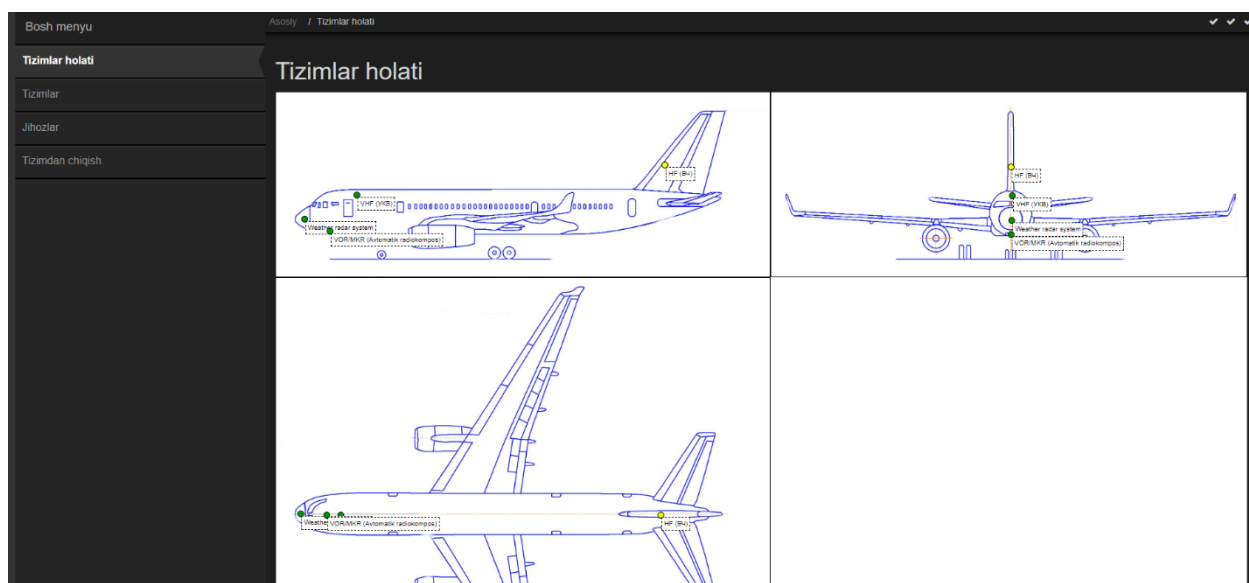


Рис. 5. Трехмерный вид воздушного судна и расположение авионики в окне «Статус систем»

Окно «Состояние систем» отображает состояние авиационной техники вместе с ее местоположением. Если самолет отображается «зеленым» цветом, значит, он в отличном рабочем состоянии. Это устройство будет гореть зеленым, пока не останется 2 месяца срока службы. «Желтый» означает, что он находится в хорошем рабочем состоянии и ему осталось 2 месяца срока службы. «Красный» означает, что самолет находится в удовлетворительном рабочем состоянии, но срок службы менее 1 месяца.

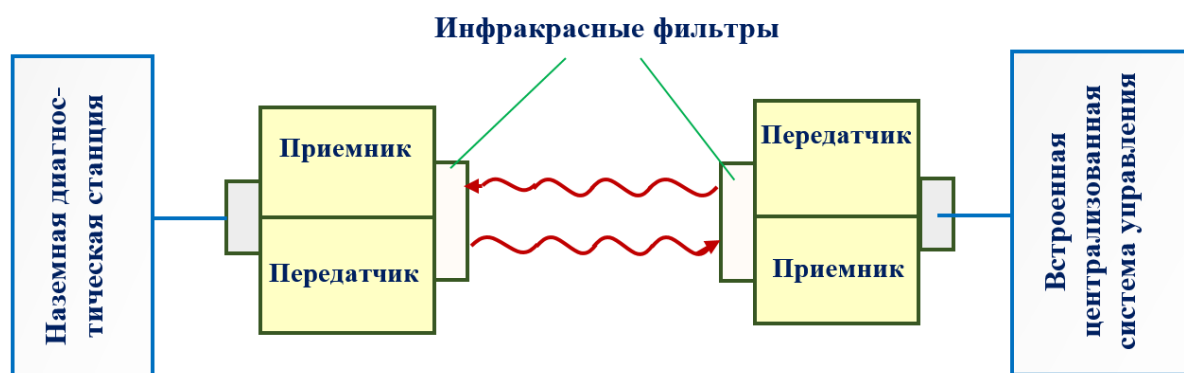
Третья глава называется «Внедрение разработанной системы диагностики» и в ней представлен анализ возможностей наземных устройств

в аэропортах, ее применение и экономическая эффективность при применении разработанной системы диагностики.

Приемопередатчик наземной станции размещают на расстоянии 100-200 м от места стоянки воздушного судна. Большое значение при этом имеет расположение наземной станции. Наземная станция используется лицом к стороне взлёта/посадки воздушного судна и должна быть свободна от объектов, мешающих связи, поскольку она использует пространственный оптический канал связи.

Помимо разнотипных объектов между наземной станцией и бортовой частью, на информационный обмен существенное влияние оказывает погода.

В связи с подключением сигнального проводника высадки пассажиров окно инфракрасного фильтра системной платы желательно разместить под пассажирской дверью. Поскольку воздушное судно будет располагаться точно в соответствии с разметкой, нанесенной на стенд, необходимо использовать наземный приемник/передатчик, направленный непосредственно на бортовую часть. В условиях «Международного аэропорта Ташкент», исходя из имеющихся возможностей размещения элементов системы, был предложен вариант построения системы дистанционного контроля параметров (рис. 6).



**Рис. 6. Принципиальная схема предлагаемой системы дистанционного управления**

Пространственная оптическая линия связи обеспечивает обмен данными между воздушным судном и наземной станцией. Основным элементом как бортовых, так и наземных систем является оптический приемник/передатчик, состоящий из оптических приемников и передатчиков.

Передача данных осуществляется посредством модулированных инфракрасных лучей. Эфирный приемник/передатчик соединяется с диагностической станцией (персональным компьютером) кабелем. Обмен данными между бортовой частью системы и наземной станцией осуществляется в полнодуплексном режиме.

Передатчик состоит из светодиодной матрицы, управляемой транзистором. Электрический сигнал подается на транзистор и преобразуется в инфракрасный сигнал светодиодной матрицей.

Светодиодная матрица представляет собой группу последовательно соединенных светодиодов, суммарная мощность которых больше, чем мощность одиночного светодиода. Очень широкий пучок формируется светодиодной матрицей, после чего устанавливается призма, задача которой

собирать световые лучи и формирует выходной пучок передатчика.

Пространственный оптический тракт связи работает в дуплексном режиме, обеспечивая одновременный прием и передачу данных в обоих направлениях. Дуплексная связь обеспечивается тем, что сигнал передатчика не попадает на приемную сторону того же приемника/передатчика. Для этого инфракрасный фильтр и инфракрасное окно разделены на две части. Делитель отделяет световой пучок, входящий в призму, от светового луча, входящего в цилиндрическую линзу. Таким образом, световой пучок от передатчика может попасть на фотодиод приемника. Это позволяет системе работать в полнодуплексном режиме.

Рассчитана экономическая эффективность предлагаемой системы дистанционной диагностики. В нем изучалась деятельность инженеров по техническому обслуживанию воздушных судов и их заработная плата в ООО «Uzbekistan airways technics». Проанализированы полетные данные воздушных судов А-320 и А-321, эксплуатируемых АО «Uzbekistan Airways» за 6 месяцев 2022 года. В результате анализа подсчитано, что за счет использования новой системы будет экономиться в среднем 143 955 842 сумов в месяц и в среднем 1 727 470 113 сумов в год.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По результатам исследования диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему «Разработка системы комплексной диагностики авиационного оборудования на основе современной элементной базы» представлены следующие выводы:

1. Проведен анализ авионики воздушного судна и исследованы методы диагностики авиационного оборудования, а также при изучении временных затрат на техническом обслуживании воздушного судна, определена необходимость использования системы дистанционной комплексной диагностики авиационного оборудования в качестве решения проблем технического осмотра воздушного судна в указанное время и задержки рейса. В результате была создана принципиально новая диагностическая система, обеспечивающая дистанционную комплексную диагностику авиационного оборудования воздушных судов.

2. В процессе послеполетного обслуживания воздушного судна была выбрана атмосферная оптическая линия связи для системы дистанционной комплексной диагностики авиационного оборудования. В результате были выбраны передающие и приемные устройства радиосвязи новой дистанционной комплексной диагностической системы.

3. В результате проведенных исследований был выбран инфракрасный диапазон для дистанционной передачи бортовой информации авиационного оборудования на основе современных компонентов в дистанционной комплексной диагностике состояния авиационного оборудования воздушного судна. В результате была разработана структурная схема диагностической системы, созданная на основе модулей, которые выдерживают помехи,

работающих в инфракрасном диапазоне.

4. На основе современных компонентов разработаны алгоритм и компьютерная программа комплексной системы диагностики авиационного оборудования. В результате появилась возможность сократить время технического обслуживания авиационного оборудования в 1,5-1,6 раза, увеличить пропускную способность аэродрома и определять отказ авиационного оборудования, а также заранее знать срок эксплуатации.

5. Проанализированы климатические условия аэропорта при использовании созданной системы комплексной диагностики авиационного оборудования воздушного судна в «Международном аэропорту Ташкент». На основе проведенных анализов было изучено влияние воздействия тумана, дождя, снега и солнечного света на обмен данными в инфракрасном диапазоне. В результате были получены данные об ослаблении оптического сигнала в различных погодных условиях.

6. Разработаны рекомендации по дистанционной диагностике оборудования действующих воздушных судов в аэропорту с помощью наземного приемника-передатчика при установке системы дистанционной комплексной диагностики на воздушное судно и наземную технику. Телескопическая трап устанавливается на входной-выходной двери воздушного судна, поэтому предлагается установить приемник/передатчик наземной станции системы на расстоянии 100-200 м лицом в сторону воздушного судна, где установлен телескопический трап.

7. Рассчитана экономическая эффективность созданной системы дистанционной комплексной диагностики. Проанализированы данные о полетах воздушных судов А-320 и А-321 АО «Uzbekistan Airways» за 6 месяцев 2022 года. В результате анализа подсчитано, что за счет использования новой системы дистанционной комплексной диагностики будет достигнута экономия средств в размере 143 955 842 сумов в месяц и 1 727 470 113 сумов в год.

**SINGLE SCIENTIFIC COUNCIL FOR THE AWARDING OF SCIENTIFIC  
DEGREES ON THE BASIS OF THE SCIENTIFIC COUNCIL  
PhD.15/31.08.2022.T.73.01 AT THE TASHKENT STATE TRANSPORT  
UNIVERSITY SCIENTIFIC DEGREES AT TASHKENT STATE  
TRANSPORT UNIVERSITY**

---

**TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY**

**MATURAZOV IZZAT SOLIYEVICH**

**DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF COMPLEX DIAGNOSTICS OF  
AVIATION EQUIPMENT BASED ON A MODERN ELEMENT BASE**

**05.02.08 – Ground complexes and aircraft**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2023**



**The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2018.2.PhD/T745.**

The dissertation has been prepared at Tashkent State Transport University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) and on the web site of «ZiyoNet» Information and education portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific supervisor:**

**Abdukayumov Abdurashid**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:**

**Rakhimov Bakhtiorjon Nematovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Saitov Aziz Azimovich**  
doctor of philosophy in technical sciences

**Leading organization:**

**Tashkent State Technical University named  
after Islam Karimov**

The defense will be take place 25.03.2023 at 16<sup>00</sup> at the meeting of Scientific Council at the Scientific Council PhD.15/31.08.2022.T.73.01 Tashkent State Transport University. Address: 1, Temiryulchilar str., Tashkent c., 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-00-01, fax: (99871) 293-57-57, e-mail: [rektorat@tstu.ru](mailto:rektorat@tstu.ru).

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information–Resource Center of the Tashkent State Transport University (Registration number – 091). (Address: 1, Temiryulchilar str., Tashkent c., 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-05-66).

Abstract of dissertation was distributed on 10.03.2023 year.  
(mailing record №009 on 09.03.2023 year).



**N.M. Aripov**  
Chairman of Scientific council  
on awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

**Sh.M. Suyunbayev**  
Scientific secretary of the Scientific council  
on awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

**M.X. Rasulov**  
Chairman of the Scientific seminar  
under Scientific council on  
awarding scientific degrees,  
candidate of technical sciences, professor



## **INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)**

**The aim of the study** is to create an integrated system for diagnosing aviation equipment based on modern components in the process of aircraft maintenance.

### **Tasks of the research:**

analysis of aircraft avionics, their control and research of means and methods of diagnostics;

evaluation of the effectiveness of the system for remote detection of the state of radio-electronic equipment on board the aircraft and the formation of requirements for it;

selection of transmitters and receivers of the atmospheric optical communication line system for an integrated system for diagnosing aviation equipment based on modern elements;

creation of an integrated system for diagnosing aviation equipment based on modern elements;

development of a computer program for a remote complex diagnostic system.

**The object of the study** is a system of remote integrated diagnostics of aviation equipment based on modern elements, an onboard complex of a remote integrated diagnostic system and a centralized ground complex of a remote integrated diagnostic system.

**The subject of research** is the transceiver devices and the operation algorithm of the computer program of the atmospheric optical communication line of the remote complex diagnostic system.

### **Scientific novelty of the research** is as following:

the post-flight service methodology has been improved by selecting an atmospheric optical communication line for remote diagnostics of an aircraft;

developed a method for monitoring the state of aviation equipment and remote integrated diagnostics, taking into account the damping of the optical signal in weather conditions;

based on modern element base, a method has been developed for remote transmission of on-board information of aviation equipment on an aircraft, taking into account electromagnetic flexibility and noise-immune modules operating in the infrared range;

a mathematical model of a system for remote complex diagnostics, which determines the failure and service life of aviation equipment, and its algorithm, taking into account the operating parameters of radio-electronic means, have been created.

### **The structure and volume of the research work.**

The dissertation consist of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of literature and applications. The volume of the dissertation is 114 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Абдукаюмов А., Матуразов И.С. Анализ методов диагностики радиоэлектронного оборудования воздушных судов // ТАЙИ хабарномаси. – Тошкент, 2018, – №1. – С. 3-6. (05.00.00; №15).

2. Abdukayumov A., Maturazov I.S. Application of optical wireless interface in radio-electronic equipment of aircraft for diagnostics // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2020. – P. 16174-16176. <http://www.ijarset.com/upload/2020/december/46-aktam-56.PDF>. (05.00.00; №8).

3. Abdukayumov A., Maturazov I.S. Study of the algorithm and program of the system of remote integrated diagnosis of aircraft equipment // The scientific journal vehicles and roads. – Тошкент: Тошкент давлат транспорт университети, 2022. – №2. – P. 160-166. (05.00.00; Олий таълим, фан ва инновациялар вазирилиги хузуридаги Олий аттестация комиссиясининг 2020 йил 30 июлдаги 01-10/1103-сонли хати).

4. Абдукаюмов А., Матуразов И.С. Ҳаво кемаларини масофадан диагностика қилиш тизимини тадқиқ қилиш // Научный журнал транспортных средств и дорог. – Тошкент: Тошкент давлат транспорт университети, 2022. – №3. – С. 139-145. (05.00.00; Олий таълим, фан ва инновациялар вазирилиги хузуридаги Олий аттестация комиссиясининг 2020 йил 30 июлдаги 01-10/1103-сонли хати).

**II бўлим (II часть; II part)**

5. Матуразов И.С., Жураев А.М. Особенности применения многозначной логики при создании диагностического алгоритма для систем диагностирования современного оборудования // Международной научно – практической конференции «Актуальные аспекты развития воздушного транспорта». – Ростов-на-Дону, 2019. (Том 2) - С. 145-151.

6. Матуразов И.С., Жураев А.М. Перспективы построения вычислителя работающий в троичной системе счисления // Международной научно – практической конференции “Актуальные аспекты развития воздушного транспорта”. – Ростов-на-Дону, 2019. (Том 2) - С. 151-157.

7. Абдукаюмов А., Матуразов И.С. Анализ диагностируемых радиоэлектронного оборудования воздушных судов на примере Boeing 787 // Илм-фан ва таълимда инновацион ёндашувлар, муаммолар, таклиф ва ечимлар. – Тошкент, 2020, №9.– С. 215-218.

8. Abdukayumov A., Maturazov I.S. Remote diagnostic capability of aircraft

special equipment // MIP: Engineering-2020. – Красноярск, 2020. [https://iopscience.iop.org.translate.google/article/10.1088/1757-899X/862/2/022019?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=ru&\\_x\\_tr\\_hl=ru&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://iopscience.iop.org.translate.google/article/10.1088/1757-899X/862/2/022019?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=sc) (SCOPUS).

9. Матуразов И.С. Ҳаво кемаларининг радиоэлектрон жиҳозларини диагностика қилиш тизимини такомиллаштириш // “Авиация ва космик технологияларда таълим ва илмнинг долзарб муаммолари” мавзусидаги Республика илмий-техник анжумани. – Тошкент, 2021. – С. 179-180.

10. Abdukayumov A., Maturazov I.S. Improvement of radio electronic equipment diagnostic system // AIP Conference Proceedings 2432, 030044. – 2022. <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0090223> (SCOPUS)

11. Abdukayumov A., Maturazov I.S. Analysis of flight information systems of modern aircraft // “Universum: engineering sciences”, – Russia, – №10(103) 2022. – С. 59-62. (02.00.00; №1).

12. Сайдумаров И.М., Жабборов Р.Б., Матуразов И.С. Разработка GSM-сигнализация на микроконтроллере // “Авиация ва космик технологияларда таълим ва илмнинг долзарб муаммолари” мавзусидаги Халқаро илмий-техник анжумани. – Тошкент, 2022. – С. 311-317.

13. Хасанов М.М., Матуразов И.С. Анализ методов генерации вихревых сигналов // “Авиация ва космик технологияларда таълим ва илмнинг долзарб муаммолари” мавзусидаги Халқаро илмий-техник анжумани. – Тошкент, 2022. – С. 349-358.

14. Абдукаюмов А., Матуразов И.С. Замонавий ҳаво кемаларининг борт ахборот тизимлари таҳлили // “Авиация ва космик технологияларда таълим ва илмнинг долзарб муаммолари” мавзусидаги Халқаро илмий-техник анжумани. – Тошкент, 2022. – С. 317-325.

15. Maturazov I.S., Abdukayumov A. Havo kemalarining aviatsion jihozlarini masofadan diagnostika qilish dasturiy ta'minoti / Maturazov I.S., Abdukayumov A. // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi. Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma. №DGU 19972. 05.12.2022 y.

---

Қоғоз бичми 60×84/16 Ризограф босма усули.  
Times New Roman гарнитураси  
Шартли босма табағи: 2.9 б.т. Адади: 60 нусха.  
Буюртма №43-27/2023  
Нашрга рухсат этилди: 10.03.2023 й.

Тошкент давлат транспорт университети босмахонасида чоп этилган.  
Манзил: 100167, Тошкент шаҳар, Темирийўлчилар кўчаси, 1-уй.